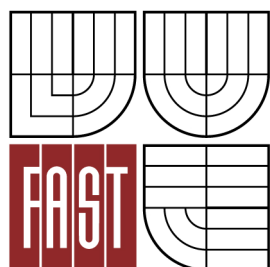




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

# **VÝVOJ NOVÉHO DRUHU LEHČENÉHO PODLAHOVÉHO POTĚRU SE SAMONIVELAČNÍ FUNKCÍ**

DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF LIGHTWEIGHT SELF-LEVELLING FLOOR SCREED

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. JOSEF ŠENK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. ROSTISLAV DROCHYTKA, CSc., MBA**

BRNO 2015



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Josef Šenk
<b>Název</b>	Vývoj nového druhu lehčeného podlahového potěru se samonivelační funkcí
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2014
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Svoboda, P., Doležal, J., Průmyslové podlahy v objektech pozemních staveb, Bratislava JAGA GROUP 2007, ISBN 978-80-8073-054-0  
SVOBODA, L. a kolektiv, Stavební hmoty, JAGA GROUP, s.r.o. Bratislava 2005, ISBN 80-8076-007-1  
PYTLÍK, P., Vlastnosti a užití stavebních výrobků, VUTIUM Brno 1998, ISBN 80-214-1123-6  
PYTLÍK, P., Technologie betonu, VUTIUM Brno 2000, ISBN 80-214-1647-5  
Příslušné normy  
Články v odborných časopisech  
www.sciencedirect.com

## **Zásady pro vypracování**

Diplomová práce bude zaměřena na vývoj nových lehčených potěrů z odpadních surovin na bázi pěnobetonu se samonivelační funkcí. Cílem diplomové práce bude vyvinout lehčený potěrový materiál se samonivelační funkcí, který bude možné skladovat ve formě suché směsi v pytlích či silech, určený k použití přímo na stavbě jen s přidáním vody.

Práce by měla být praktická a měla by obsahovat následující body:

1. Analýzu trhu lehčených stavebních hmot, zejména podlah.
  2. Prozkoumání možností vylehčení stavebních hmot přímo, nepřímo a ve skladbě.
  3. Provedení rozsáhlejší analýzy možností ztekucení samonivelačních hmot s důrazem na jejich vlastnosti.
  4. Výběr vhodných surovin pro kombinaci ztekucení samonivelačního potěru s vylehčením pomocí mikropórů a základní laboratorní ověření vhodnosti jednotlivých surovin pro tuto kombinaci.
  5. Návrh receptur směsí pro výrobu samonivelačních lehčených podlahových potěrů.
  6. Provedení experimentálních prací, laboratorní výroba a odzkoušení navržených směsí.
  7. Ověření dlouhodobé stability suchých směsí a jejich vhodnosti pro skladování.
  8. Ekonomické zhodnocení při využití různých druhů odpadních a lehčených surovin v recepturách.
  9. Optimalizace a výběr vhodných receptur a postupů pro vylehčení a ztekucení suchých směsí.
- Rozsah diplomové práce nejméně 60 stran včetně tabulkové a grafické přílohy.

## **Předepsané přílohy**

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na vývoj nového druhu lehčeného potěru se samonivelační funkcí. Cílem diplomové práce bude vyvinout lehčený potěrový materiál se samonivelační funkcí, který bude možné skladovat ve formě suché směsi v pytlích či silech, určený k použití přímo na stavbě jen s přidáním vody.

**Klíčová slova**

Podlaha, lehčené kamenivo, samonivelační potěr, superplastifikátor, pěnobeton, plynobeton

**Abstract**

This thesis is focused on development of a new type of lightweight self-levelling floor screed. The aim of this thesis is to develop lightweight screed with self-levelling function, which could be stored in a dry mixture in bags or silos, designed for use with only addition of water.

**Keywords**

Flooring, lightweight aggregates, self-levelling floor screed, superplasticizer, foam concrete, aerated concrete

...

### **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Josef Šenk *Vývoj nového druhu lehčeného podlahového potěru se samonivelační funkcí*. Brno, 2015. 69 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA

.

Tento výsledek byl realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu FR-TI3/742 - Systém lehčených hmot pro dokončování staveb s druhotnými surovinami.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13.1.2015

.....  
podpis autora  
Bc. Josef Šenk

### **Poděkování**

Děkuji prof. Ing. Rostislavu Drochytkoví, CSc., MBA a Ing. Evě Tůmové za odborné vedení, konzultace, připomínky a užitečné rady při vypracování této diplomové práce.

1. ÚVOD .....	10
2. CÍL .....	11
3. METODIKA .....	12
3.1 Etapa I – Průzkum trhu v oblasti lehčených podlah, samonivelačních podlah, případně kombinace lehčených samonivelačních podlah.....	12
3.2 Etapa II – Vytvoření receptur lehčeného materiálu se samonivelační schopností ....	13
3.3 Etapa III – Zhodnocení výsledných vlastností, výběr nejvhodnějších receptur .....	15
4. LEHČENÉ PODLAHY .....	16
4.1 Přímé vylehčení stavebních materiálů .....	16
4.2 Nepřímé vylehčení stavebních materiálů .....	16
4.3 Kombinace přímého a nepřímého vylehčení .....	17
4.4 Materiály pro lehčené podlahy .....	17
4.5 Lehké pórovité betony .....	19
5. POTĚRY A SAMONIVELAČNÍ PODLAHY .....	23
5.1 Anhydritové samonivelační potěry .....	23
5.2 Samonivelační potěry na bázi cementu .....	24
5.3 Typy potěrů dle způsobu uložení.....	26
5.4 Samonivelační stěrky.....	27
5.5 Ukládání samonivelačních potěrů .....	29
6. ADITIVA .....	30
6.1 Plastifikátory a superplastifikátory .....	30
6.2 Provzdušňovací přísady .....	31
6.3 Zpomalovací (retardační) přísady.....	32
7. PRAKTICKÁ ČÁST .....	33
7.1 Popis použitých zkoušek pro stanovení fyzikálně-mechanických vlastností .....	33
7.2 Výběr a popis vhodných surovin .....	36
7.3 Návrh a odzkoušení receptur lehčených směsí se samonivelačními schopnostmi ....	38



---

7.4	Ověření dlouhodobé stability suché směsi .....	52
7.5	Ekonomické zhodnocení.....	55
7.6	Optimalizace .....	58
8.	DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	60
8.1	Etapa I – Průzkum trhu v oblasti lehčených podlah, samonivelačních podlah, případně kombinace lehčených samonivelačních podlah.....	60
8.2	Etapa II – Vytvoření receptur lehčeného materiálu se samonivelační schopností ....	60
8.3	Etapa III – Zhodnocení výsledných vlastností, výběr nejvhodnějších receptur .....	61
9.	ZÁVĚR .....	63
	Seznam použitých zdrojů .....	65
	Seznam použitých norem .....	66
	Seznam grafů.....	67
	Seznam tabulek .....	68
	Seznam obrázků .....	69

# 1. ÚVOD

Základní definice a charakteristiky potěrů jsou uvedeny v normě ČSN 74 4505 Podlahy – Společná ustanovení a zejména v normách ČSN EN 13318 Potěrové materiály a podlahové potěry – Definice a ČSN EN 13813 Potěrové materiály a podlahové potěry – Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky.

Podlahou rozumíme nejen tzv. finální nášlapnou vrstvu, tedy povrch, který vidíme a se kterým přicházíme do kontaktu (dlažba, laminátové podlahy, koberce...), ale i tu část, kterou nevidíme – tzv. roznášecí (podkladní) vrstvu, jejíž úlohou je rozložit zatížení podlahy na větší plochu a zároveň vytvořit co nejrovnější podklad pro pokládku finální vrstvy podlahy. [11]

Zejména u rodinných domů se dosud používají betonové podlahy z cementové mazaniny, a to se všemi nevýhodami, které tento materiál s sebou nese. Těmito nevýhodami jsou pracná a pomalá pokládka s dopravou kolečky, dále problematické ruční srovnání do roviny a také nutnost pokládat vyšší vrstvu materiálu, kterou je nutné vyztužovat ocelovými sítěmi. Tyto nevýhody betonových podlah řeší právě moderní lité podlahy, kdy se podlahová směs ukládá – lije pomocí čerpadel. Pokládka je tak nesrovnatelně rychlejší, lité podlahy mají většinou samonivelační účinek a není problém dosáhnout s nimi téměř ideálních rovinatostí. Z litých podlah se stále více prosazují tzv. anhydritové lité potěry na bázi síranu vápenatého. Vrstvy litých podlah lze pokládat v síle již od tří centimetrů. Lité potěry jsou na stavenišť dodávány v pytlích a silech nebo pomocí autodomíchávačů, záleží na rozsahu prací. [11]

Jakožto vodorovné konstrukce patří podlahové systémy k nejdůležitějším částem stavby. Celá stavba, tedy i podlahy, musí vyhovovat všem kritériím a vysokým nárokům ohledně kvality a vlastností. Jedním z takovýchto požadavků je hmotnost podlahy, která pak působí zatížením do nosného podkladu a na další části konstrukce. Snahou je docílit minimálního zatížení. Tento požadavek je zvláště účinný pro vícepodlažní objekty, kdy snížení hmotnosti podlahových konstrukcí v celém součtu objektu dosahuje velkých hodnot. S nízkou hmotností je úzce spojena tepelně-izolační schopnost, která je v současné době výstavby úsporných budov s co nejnižší energetickou náročností také velmi důležitá. Proto vznikly a stále vznikají nové hmoty pro lehčené podlahy. [14]

## 2. CÍL

Cílem diplomové práce je provést analýzu v oblasti lehčených podlah. Hlavním cílem diplomové práce je vývoj nového druhu lehčeného podlahového potěru se samonivelační funkcí. Cílem je vytvořit takový materiál, který bude ve formě suché směsi skladován v pytlích nebo silech a pouze s přidáním vody jej pak bude možno použít přímo na stavbě.

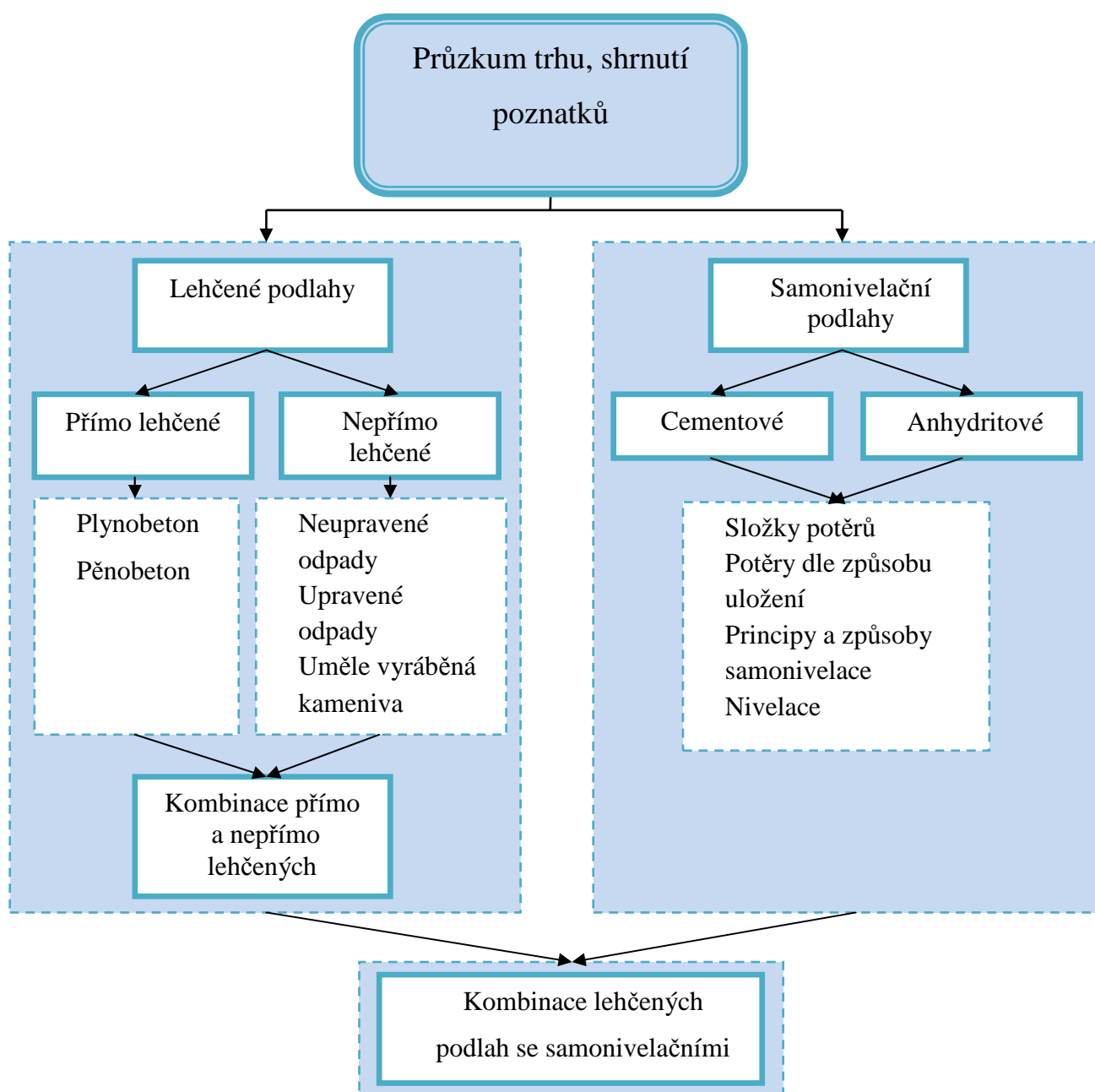
Práce bude rozdělena na část teoretickou a praktickou. Hlavním cílem teoretické části je shromáždění informací a poznatků u lehčených a samonivelačních materiálů a vytvořit tak základ pro praktickou část. Popsány budou možnosti vylehčení stavebních materiálů. Jedná se o způsoby přímé a nepřímé. Práce by pak měla být zaměřena hlavně na analýzu možností kombinace právě přímého a nepřímého vylehčení, především použití lehkého pórovitého kameniva v kombinaci s pěnobetonovou resp. plynobetonovou bází, které budou tvořeny cementovou maticí. V práci budou také zmíněny dosavadní poznatky o samonivelačních podlahách, jejich druhy, principy samonivelace, způsoby uložení a složky těchto potěrů.

Praktická část bude čerpat z poznatků části teoretické. Cílem je zhodnotit a vybrat vhodné suroviny pro kombinaci přímého a nepřímého vylehčení a z nich pak sestavit návrh receptur směsí pro výrobu lehčených podlah se samonivelačními schopnostmi. Hlavním cílem praktické části je stanovení vybraných fyzikálně-mechanických vlastností u navržených směsí, které budou podrobeny daným laboratorním zkouškám. Cílem práce je také ověřit dlouhodobou stabilitu směsí a jejich vhodnost ke skladování. Po zhodnocení všech fyzikálně-mechanických vlastností bude u vybraných vyhovujících receptur provedeno ekonomické zhodnocení. To se bude týkat stanovení nákladů na pořízení surovin. Posledním cílem práce je pak výběr nejvhodnějších receptur pomocí optimalizace. Na závěr budou vybrány ty, které budou vykazovat nejlepší fyzikálně-mechanické vlastnosti a přitom bude jejich cena co nejpříznivější.

### 3. METODIKA

#### 3.1 Etapa I – Průzkum trhu v oblasti lehčených podlah, samonivelačních podlah, případně kombinace lehčených samonivelačních podlah

První etapa se bude zabývat průzkumem trhu a jeho dosavadním stavem v oblasti lehčených podlah a samonivelačních podlah. Etapa se bude také věnovat shrnutí teoretických poznatků. Bude prozkoumána možná kombinace lehčených podlah se samonivelačními.

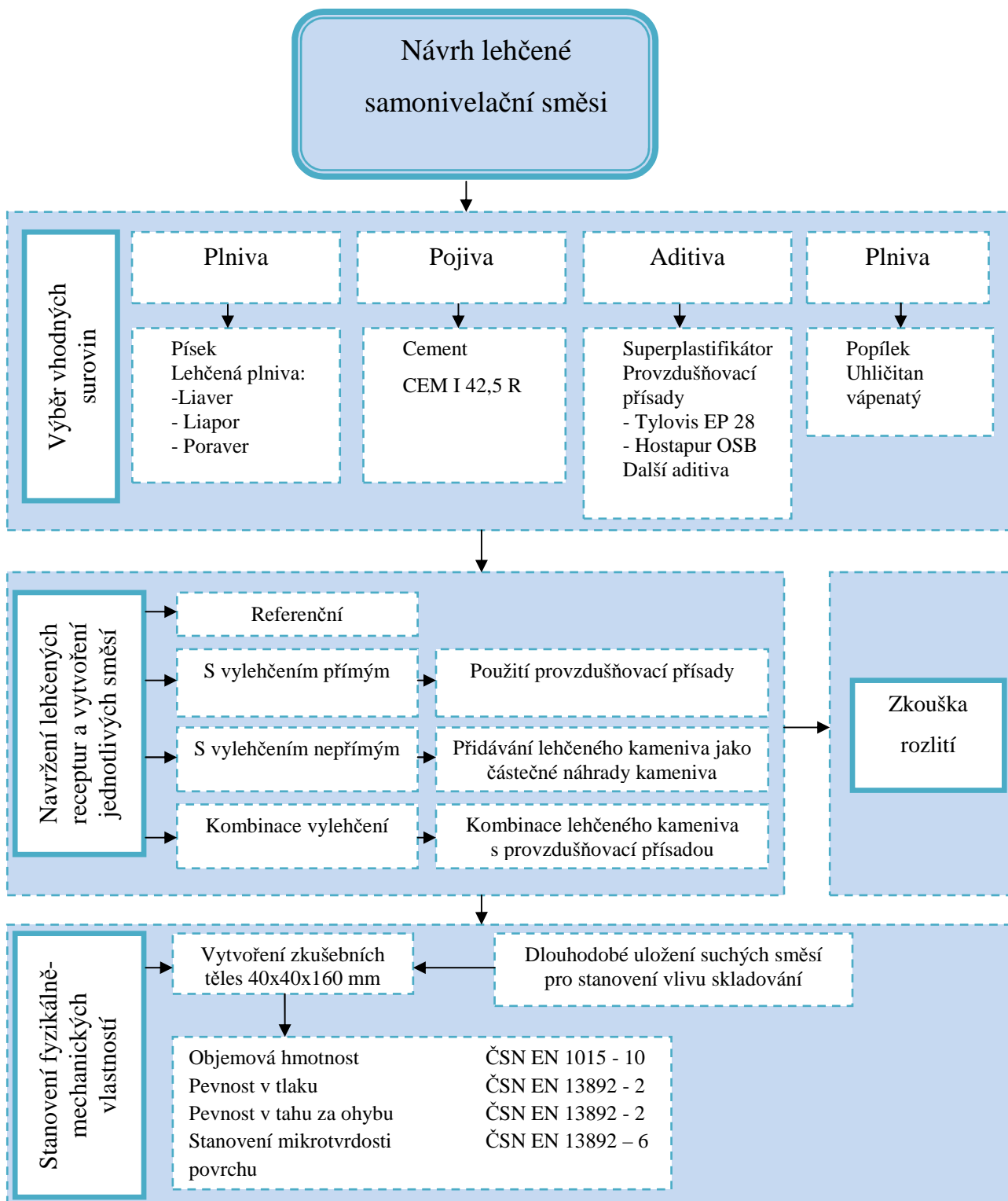


### **3.2 Etapa II – Vytvoření receptur lehčeného materiálu se samonivelační schopností**

Druhá etapa bude zaměřena na vývoj lehčené směsi se samonivelační schopností. Vylehčení bude probíhat pomocí kombinace přímého a nepřímého vylehčení. Nejprve budou vybrány vhodné suroviny pro tuto kombinaci. Budou vytvořeny receptury, podle kterých budou namíchány směsi, u kterých se stanoví hodnota rozlití. Ze směsí jednotlivých receptur budou vyrobeny zkušební vzorky (trámečky 40x40x160 mm), které budou podrobeny laboratorním zkouškám pro stanovení jejich fyzikálně mechanických vlastností. Budou stanoveny objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku, pevnosti v tahu za ohybu a mikrotvrdost povrchu. Všechny zkoušky budou prováděny na vzorcích ve stáří 28 dní.

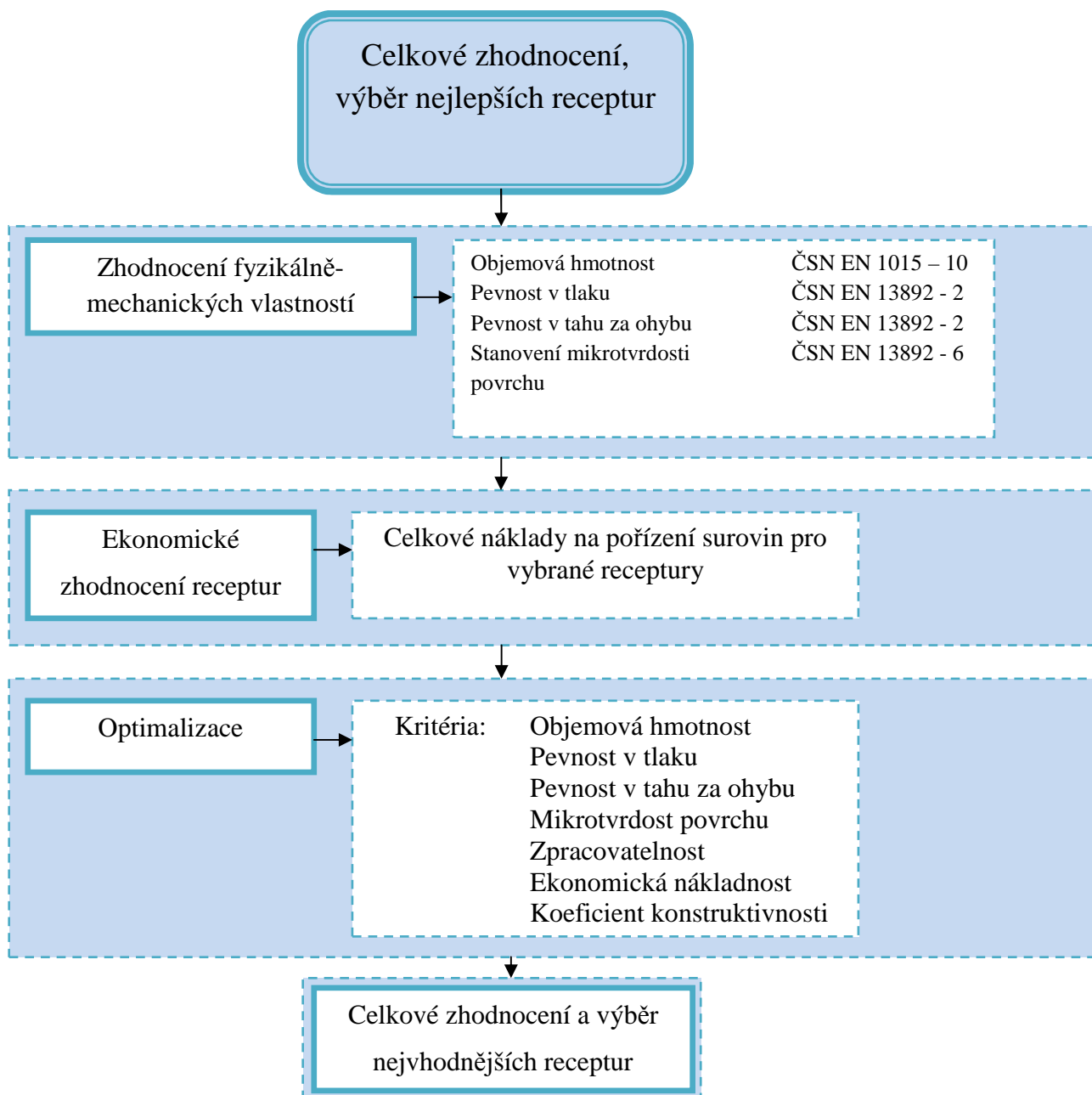
U vybraných receptur budou také zkoušeny vzorky, které byly vyrobeny ze směsí dlouhodobě uložených v suchém prostředí. Bude provedeno srovnání s původními vzorky a stanoven vliv skladování suchých směsí na fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Hlavním cílem této etapy je vytvořit směs, jejíž pevnost bude dostačující a poměr mezi objemovou hmotností a pevností bude co nejlepší.



### 3.3 Etapa III – Zhodnocení výsledných vlastností, výběr nejvhodnějších receptur

V závěrečné etapě budou zhodnoceny výsledky dosavadních etap, zejména fyzikálně-mechanické vlastnosti u všech receptur. U vybraných bude provedeno ekonomické zhodnocení. Dále bude provedena optimalizace a vybrány nejvhodnější receptury.

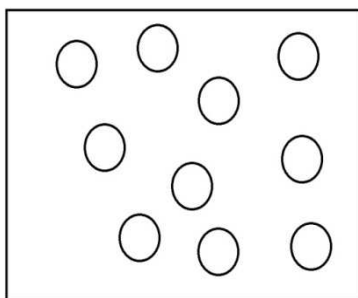


## **4. LEHČENÉ PODLAHY**

### **4.1 Přímé vylehčení stavebních materiálů**

Přímého vylehčování staviv se dosahuje hlavně rovnoměrně rozdělenými vzduchovými dutinami vzniklými např. děrováním, jako je tomu u děrovaných cihel nebo zvětšováním pórovitosti, jako např. přidavkem spalitelných látek k základním surovinám u výrobků, které se vypalují. Velikost pórů a rovněž jejich tvar není přitom rozhodující. Patří sem hmoty s velmi malými póry vytvořenými odpařením vody i hmoty s většími vzduchovými kavernami mezi zrny kameniva. Přímého vylehčení se často dosahuje také dodáním pěnového stavu materiálu, tj. stav s uzavřenými póry. Napěňovacího způsobu se používá pro výplně, tj. pro výrobu pórovitého kameniva i pro celou masu staviva, a to ve studeném stavu o vhodné konzistenci, jako je tomu u pěnobetonů nebo i v poloroztaveném žhavěplastickém stavu, jako je tomu u pěnového skla a struskové pemzy. Napěňování používáme i u organických staviv. [2]

Výhody přímého vylehčení – takto vylehčené látky se vykazují homogenní strukturou, tím pádem mají stejné vlastnosti v každém místě.



Obrázek 1 - Přímé vylehčení [16]

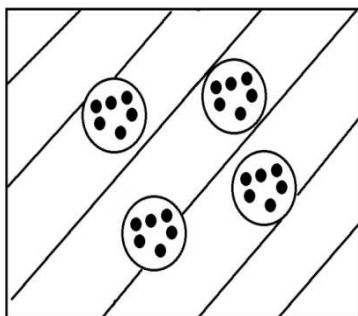
### **4.2 Nepřímé vylehčení stavebních materiálů**

U tohoto způsobu vylehčení se zmenšuje nepřímo objemová hmotnost staviv tím, že se při jejich výrobě používá lehkých pórovitých přírodních látek buď organických (jako dřeva, korku apod.) nebo nerostných (jako např. křemeliny), které se jako zrnitá výplň spojí v základní stavební látku maltovinovým tmelem. Ve výsledku to znamená, že jsou u těchto stavebních látek lehčící vzduchové dutiny obsaženy v plnivu a tedy rozloženy nerovnoměrně. Vlastnosti staviva potom ovlivňují vlastnosti u obou použitých složek, tmelu i vylehčující výplně. Velmi často se k nepřímému lehčení staviv (především betonu)



používají lehká pórovitá kameniva vyrobená napěněním za vysokých teplot, tedy přímým vylehčením. [2]

Nevýhody nepřímého vylehčení – oproti přímému vylehčení nemají tyto látky homogenní strukturu, vznikají tím pádem tepelné mosty a tyto látky mají rozdílné vlastnosti ve hmotě.



Obrázek 2 - Nepřímé vylehčení [16]

### 4.3 Kombinace přímého a nepřímého vylehčení

Této metody kombinovaného vylehčení při výrobě lehkého staviva je možné dosáhnout použitím jak nepřímého vylehčení pórovitým kamenivem, tak i některého způsobu lehčení přímého, např. se využije ještě mezerovitosti tohoto kameniva. Tento způsob je zvláště často používán například u celé velké skupiny mezerovitých lehkých betonů s pórovitým kamenivem. Další ukázky kombinovaného lehčení staviv jsou pěnobeton s hrubozrnnou výplní, pálené výrobky z pilinokřemelinových hmot apod. [2]

### 4.4 Materiály pro lehčené podlahy

#### 4.4.1 Liaporový (keramzitový) beton

Je to cementový beton, u kterého je jeho hlavní složka, tedy hutné kamenivo, nahrazeno Liaporem (keramzitem). Horní hranice objemové hmotnosti lehkých betonů obecně je dána kritériem norem, tedy na  $2000 \text{ kg.m}^{-3}$ . Liaporový beton je rozdělen podle struktury na hutné lehké betony a na mezerovité lehké betony.

U hutných lehkých betonů z Liaporu je možné dosáhnout pevností od 5 do  $60 \text{ N.mm}^{-2}$  a při použití speciálních přísad a postupů až  $100 \text{ N.mm}^{-2}$ . Pevnost hutného lehkého betonu z Liaporu závisí přímo úměrně na jeho objemové hmotnosti, ale i na použitém druhu Liaporu, na celkové křivce zrnitosti kameniva, na složení směsi atd., což umožní při stejné objemové hmotnosti dosáhnout různých pevností. Lze se dostat na hodnotu objemové

hmotnosti až  $800 \text{ kg.m}^{-3}$ . Při kombinaci Liaporu s Liaverem může být dolní hranice ještě nižší. Rozhodujícím požadavkem u lehkých mezerovitých betonů není pevnost, ale spíše nízká objemová hmotnost a s ní spojené dobré tepelně-izolační vlastnosti. V těchto betonech je podstatně méně drobného kameniva a pojiva než v hutném lehkém betonu. Pokud zůstane prostor mezi zrny Liaporu nevyplněný maltou, hovoříme o betonu s přirozenou mezerovitou strukturou. Pokud je prostor mezi zrny zaplněn maltou, do které byly uměle vneseny vzduchové póry pomocí napěňovací přísady, hovoříme o lehkých betonech s napěňenou strukturou. Mezerovité lehké betony z Liaporu mohou být vyráběny v pevnostech od 2 do  $15 \text{ N.mm}^{-2}$  a objemových hmotnostech od  $550 \text{ kg.m}^{-3}$ . [1] [12]



Obrázek 3 – Mezerovitá struktura [12]



Obrázek 4 – Hutná struktura [12]

#### **4.4.2 Polystyrenový beton**

Tento beton obsahuje polystyren ve formě expandovaných granulí, které se přimíchávají do cementového betonu nebo mléka, tím jej vylehčují a zajišťují snížení tepelné vodivosti  $\lambda$ . Vzhledem k velmi nízké objemové hmotnosti polystyrenových granulí a také strukturální charakteristice této směsi, je obsah polystyrenu rozhodujícím faktorem celkové objemové hmotnosti a také tepelné vodivosti. Polystyrenbeton není určen jako nosný prvek, ale spíše jako výplňový, tepelně izolační prvek. Polystyrenové betony s objemovými hmotnostmi  $850 \text{ kg.m}^{-3}$  a více, lze vyrábět v běžných betonárnách a jsou

čerpatelné pumpami na beton, přičemž nedochází k segregaci. Betony s nižší objemovou hmotností je třeba vyrábět pomocí speciálního zařízení, nejlépe přímo na místě zpracování.



Obrázek 5 - Polystyrenbeton [13]

#### **4.4.3 Beton z expandovaného perlitu**

Perlitový beton vyniká nízkou hmotností, zvukovou pohltivostí, požární odolností a tepelně-izolační schopností. Podle místa použití lze přizpůsobit množství pojiva a vytvořit tak beton s potřebnou pevností v tlaku. Pro volbu typu a množství perlitu je rozhodující požadavek na tepelně-izolační vlastnosti podkladní vrstvy a její pevnost či únosnost. Perlit musí být při dávkování do míchačky předem máčen ve vodě, až je zcela nasycen. Jedná se o křehký materiál, proto se při prodlužování míchání mělní a ztrácí svou původní zrnitou skladbu. Použitím perlitu se může hodnota tepelné vodivosti  $\lambda$  dostat až na  $0,45 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

### **4.5 Lehké pórovité betony**

Pórovité betony jsou tvořeny jemnozrnnou maltou, která je prostoupená velkým množstvím drobných pórů. To značí jejich nízké objemové hmotnosti a také nízkou hodnotu součinitele tepelné vodivosti. Podle velikosti pórů rozdělujeme tyto látky na makropority, které jsou charakteristické svými póry o průměru několika desetin mm nebo nanejvýš několika mm. Látky s póry menšími než  $0,1 \text{ }\mu\text{m}$  se nazývají mikropority. Makropórovité betony se pak dále dělí podle toho, jakým způsobem byly póry v maltovinné hmotě vytvořeny před jejím zatuhnutím. Póry mohou vznikat chemickou cestou, tj. uvolňováním bublinek různých plynů v pórobetonové směsi chemickou reakcí přidávaných látek, zejména mezi cementem a přidanou příměsí. Dále také póry vznikají mechanickým zaváděním do betonové směsi vhodných pěnidel, které v ní pomáhají vytvářet bublinky

vzduchu. Podle tohoto hlediska dělíme makropórovité betony na plynobetony a pěnobetony. [1]

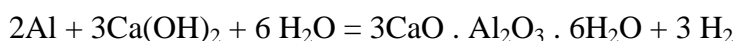
### 4.5.1 Plynobeton

Pro přípravu plynobetonů používáme různé druhy maltovin, nejčastěji cement, vápno nebo směs těchto maltovin. Při výrobě dochází k nakypření čerstvé hmoty, která zůstane po ztvrdnutí již v nakypřeném tvaru. Zdrojem tohoto nakypření bývá chemická přísada, která po styku s vodou, případně oxidem vápenatým vytvoří rozpínající se plyn (odtud plynobeton). Takovýmto způsobem se vyrábějí převážně prefabrikáty vápenopiskového typu, které se po napěnění vytvrzují v autoklávu. [1]

### Plynotvorné látky

#### Hliníkový prášek

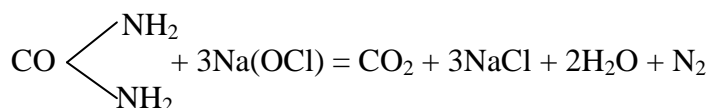
Hliníkový prášek patří mezi hlavní plynotvorné látky. Někdy je používán ve formě pasty. Slouží jako přísada způsobující vznik pórovité struktury. Vzniklé bubliny jsou nositelem charakteristických tepelně-izolačních vlastností a zároveň tyto bubliny přerušují kapiláry ve hmotě a tak zabraňují kapilárním jevům, jež zapříčiňují vlhnutí a promrzání dílců. Při reakci hliníku s vodou v alkalickém prostředí se uvolňuje vodík, který probublává skrz zrající směs. Vodík Tato reakce probíhá takto:



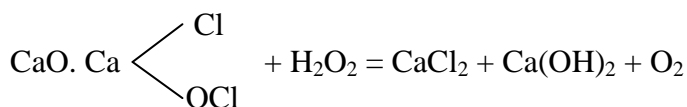
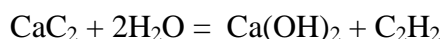
Hliníkový prášek musí mít obsah aktivního Al nejméně 94 % a tato hodnota nesmí kolísat více než o 1 %. Dalším požadavkem je, že musí obsahovat rovnoměrně velké šupinové krystaly o specifickém povrchu 700 až 1200 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>. Kritérium je důležité zejména pro dokonalý vývoj plynu. V případě malého měrného specifického povrchu se totiž může stát, že vyvíjené bublinky vodíku budou příliš velké, což by mělo negativní dopad na konečnou pevnost. Obsah minerálního tuku nebo oleje, který se přidává, aby zabránil samovznícení prášku, by neměl překročit 1,3 %. Pokud tomu tak není, nastávají problémy s odmašťováním, což má za následek pozdní vývoj plynu. Je také nežádoucí, aby hliníkový prášek obsahoval hrudky nebo kulovitá zrna, která mají malý aktivní povrch. Na 1 m<sup>3</sup> pórobetonu se přidává 0,1 až 2,5 kg (nejčastěji 0,25 až 0,5 kg) hliníkového prášku. Vlhkost hliníkového prášku nesmí být vyšší jak 0,2 %. [2]

Močovina a chlornan sodný

Chlornan sodný vzniká zaváděním chloru do roztoku hydroxidu sodného. Průmyslově ho lze vyrábět elektrolýzou s oddělením anody a katody s udržovanou teplotou pod 40°C. Chlornan sodný je kapalina žlutozelené, čiré až slabě zakalené barvy. Jiným názvem diamid kyseliny uhličitě. Močovina je průmyslově vyráběna v celosvětovém měřítku kolem 100 milionů tun ročně. Vyrábí se z amoniaku a oxidu uhličitého ve formě granulí, vloček, kuliček, roztoků. Reakcí těchto dvou chemikálií vzniká plyn podle následující rovnice: [2]

Chlorové vápno a peroxid vodíku

Plynem, který způsobuje napěnění je v tomto případě kyslík.

Karbid vápníku za přídavku klihatu**4.5.2 Pěnobeton**

Způsob výroby pěnobetonu spočívá ve vytvoření husté pěny za pomoci pěnidla a vody, do které se následně vmíchávají pevné složky včetně cementu. Základními surovinami jsou křemičitý písek, úletový popílek, vápno, cement, pěnidlo (povrchově aktivní látka) a voda. Základním technologickým vybavením je míchačka a vyvíječ pěny. Podle základní suroviny rozdělujeme pěnobetony na pěnový beton s pískem, ve kterém je nosnou surovinou křemičitý písek a na pěnový beton s popílkem, u kterého je nosnou složkou úletový popílek z elektrofiltrů velkých topenišť nebo mletá vysokopecní struska. Doplnujícím materiálem pro oba případy je vápno, které zlepšuje fyzikálně- mechanické vlastnosti. Pomocí nakypřovací přísady a vyvíječe pěny společně se záměsovou vodou vznikne pěnový pórobeton, který je určen pro výrobu vyrovnávacích podlahových vrstev. Pevnost pěnobetonů je přímo závislá na objemové hmotnosti. [1]

### **Pěnotvorné látky**

Pěnotvorné látky jsou přísady, které se používají při výrobě pěnobetonu. Způsobují, že se při míchání dostává do betonu fyzikální cestou velké množství dostatečně pevných a stálých vzduchových bublin.

Tyto látky jsou rozděleny podle účinných látek, které způsobují napěnění na pěnotvorné látky:

Na bázi bílkovin - vyrábí se hydrolýzou živočišných bílkovin např. z rohů, krve, kostí nebo podobných odpadů z chovu skotu, prasat či jiných dalších živočišných schránek.

Na bázi povrchově aktivních látek - jsou čistě chemického původu s konstantní kvalitou. Povrchově aktivní látky se hromadí na fázi rozhraní kapaliny či plynu a vytváří stabilizující film.

Na bázi enzymové - enzymatické pěny jsou výsledkem nejnovějšího vývoje. Skládají se převážně z vysoce aktivních bílkovin rostlinného původu. Dosahují optimálnější kvality bez typického zápachu. [15]

## **5. POTĚRY A SAMONIVELAČNÍ PODLAHY**

Lité nebo též samorozlévací podlahové hmoty mohou být určeny jako vyrovnávací vrstvy, které se musí ještě opatřit další nášlapnou vrstvou nebo to mohou být hmoty určené ke zhotovení finálního povrchu podlahy. Vyrovnávací vrstvy (označované též jako vrstvy samonivelační) se vyrábějí buď na cementové nebo anhydritové bázi. Nejrozšířenější samonivelační hmoty jsou cementové, které mohou být použity na běžné podklady, jako je beton, cementový potěr nebo stávající dlažby, například při rekonstrukcích. [3]

### **5.1 Anhydritové samonivelační potěry**

Anhydritová směs pro lité podlahy představuje novou generaci podlahových hmot pro vnitřní použití v novostavbách i rekonstrukcích bytových a kancelářských objektů pro plovoucí potěry, pro podlahová vytápění apod. Anhydritový tekutý potěr představuje technologicky vyzrálý hospodárný systém, ve kterém tvoří dodávky a položení jeden technologický celek.

Anhydrit je čerstvá samonivelační potěrová směs na bázi síranu vápenatého (anhydritu), plniva, přísad a vody. Při vytvrzování potěru dochází k tvorbě krystalové struktury. Relativně velké a kompaktní krystaly se mezi sebou celoplošně spojují, a tak vzniká jen minimální množství dutých prostorů. Anhydritový potěr spojuje vynikající stavebně-fyzikální parametry (pevnost v tlaku dle požadavku minimálně 20 nebo 30 N.mm<sup>-2</sup>, pevnost v tahu za ohybu minimálně 5 N.mm<sup>-2</sup>) s optimálními vlastnostmi pro pokládání. Anhydritová podlaha po položení tvrdne tak rychle, že je pochozí po 24-48 hodinách a zatížitelná po 4-5 dnech. Anhydritový potěr je po vytvrzení hladký a bez trhlin od smrštění, nedeformuje se do miskovitého tvaru. I velké plochy lze pokládat bez dilatačních spár. Dělicí spáru je vhodné vytvořit při přechodu mezi různými výškami potěrů a při přechodu mezi plochami s podlahovým topením a bez topení.

Tuhnutí neovlivňují nízké ani vysoké teploty a potěr lze aplikovat i v zimním období do -5°C. Po vylití podlahové směsi se místnost musí zabezpečit proti průvanu. Díky sníženému množství vzduchových bublin a vysoké hustotě je výhodný pro podlahová vytápění, neboť snižuje, oproti betonu, odpor prostupu tepla a teplo odvádí do vytápěného prostoru rychleji. Obalení topných vedení je homogenní a dokonalé. [6]

## 5.2 Samonivelační potěry na bázi cementu

### 5.2.1 Samonivelační betonový potěr

Rozvoj oblasti stavební chemie používané při výrobě betonových směsí v poslední době umožňuje výrobu tzv. samohutnitelných betonů. Tyto betony jsou používány i pro provádění nosných desek podlah v bytové výstavbě. Jedná se o novou technologii provádění podlah, kdy se pro výrobu potěrů využívá přísad -superplastifikátorů. Betonový potěr má vysokou tekutost, dokáže se téměř srovnat sám a umožňuje aplikaci bez nutnosti strojního hutnění. Použití superplastifikátorů a dalších přísad, které omezují smrštění betonu, lze dosáhnout snížení obsahu jemných částic ve směsi a beton je tak daleko méně náchylný na tvorbu trhlin. Z důvodu nižšího smrštění je minimalizována i deformace podlahových desek. U hotových podlah ze samonivelačních betonových potěrů lze dosáhnout rovinatost  $\pm 2 \text{ mm/2m}$  a není nutné je dále vyrovnávat pod finální nášlapné vrstvy. Vynikající zpracovatelnost umožňuje i denní výkon až  $1500 \text{ m}^2$ . U podlahového vytápění se doporučuje desku vyztužit kari sítí. Podlahová deska má vysokou pevnost a je velmi kompaktní. Vysychání desky je pomalé a po 28 dnech od položení za normálních klimatických podmínek vnitřní vlhkost klesne cca pod 4%. [6]



Obrázek 6 - Ukládání litého potěru[6]



Obrázek 7- Srovnávání litého potěru[6]





Obrázek 8- Hotový potěr [6]

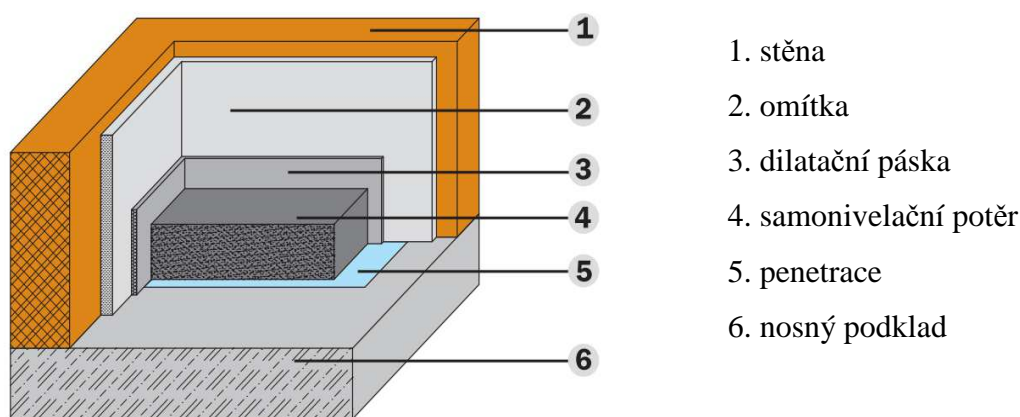
### **5.2.2 Lité podlahy cementové**

Lité podlahy se používají pro vytvoření nášlapné (obrusné) povrchové vrstvy na nosných betonových deskách. Velké uplatnění tohoto systému je při rekonstrukcích povrchů betonových podlah ve výrobních a skladovacích prostorech, dílnách, velkoobchodech, hromadných parkovištích a parkovištích obytných budov, logistických a obchodních centrech a všude tam, kde je třeba v krátkém čase provést rekonstrukci nášlapné vrstvy. Po aplikaci tohoto systému se povrch podlahy stane neprašným, hladkým, trvanlivým a houževnatým povrchem s přirozenou nekluzností a zvýšenou odolností proti vsakování olejů a tuků, vyznačujícím se vysokou životností a zvýšenou odolností proti rázovému zatížení. Barevné modifikace splňují i vysoké estetické nároky. Pro realizaci nášlapné vrstvy se používá syntetických suchých směsí, které obsahují tříděná plniva, speciální cementy a chemické přísady. Chemické přísady upravují fyzikální vlastnosti směsi po vytvrdnutí a zpracovatelnost směsi při ukládání. Před ukládáním se suchá směs smísí se stanoveným množstvím vody. Jednoduchý a rychlý způsob aplikace, který spočívá v nalití tekuté směsi na připravený podklad a strmý nárůst pevnosti umožňuje kompletní provedení vrstvy v krátkém čase. Povrchová vrstva je houževnatá, má výbornou odolnost proti obrusu, vysokou pevnost v tlaku a bezprašný, dobře udržovatelný povrch. Tloušťka vrstvy je volitelná. Pohybuje se podle druhu zatížení od 5 do 10 mm. Modifikaci tohoto systému lze použít i v obytných místnostech a kancelářích, ale je nutné povrch podlahy uzavřít vhodným transparentním nátěrem (např. na polyuretanové bázi). [6]

## 5.3 Typy potěrů dle způsobu uložení

### 5.3.1 Potěr spřažený s podkladem

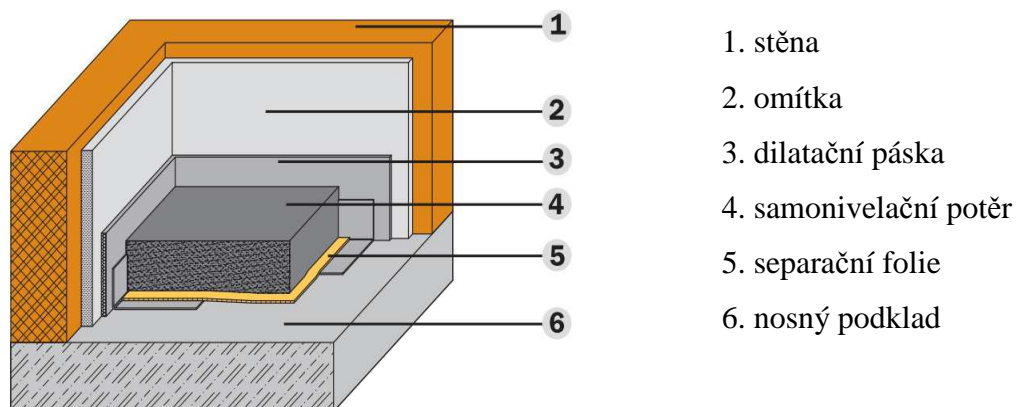
Potěr spřažený s podkladem není samonosnou konstrukcí a kopíruje všechny deformace svého podkladu. Používá se zejména jako vyrovnávací vrstva nebo pro zlepšení vlastností povrchu podlahy. Klade se v tloušťkách cca 10–30 mm. Typologicky lze do této kategorie zařadit i stěrky kladené v tloušťkách výrazně menších. Tyto potěry jsou velmi náročné na provedení, zejména na dosažení požadované soudržnosti s podkladem a ochranu proti ztrátě vlhkosti. Zároveň se do nich promítají trhliny a další defekty z podkladu. [5]



Obrázek 9 - Spojený potěr [9]

### 5.3.2 Potěr oddělený od podkladu separační vrstvou

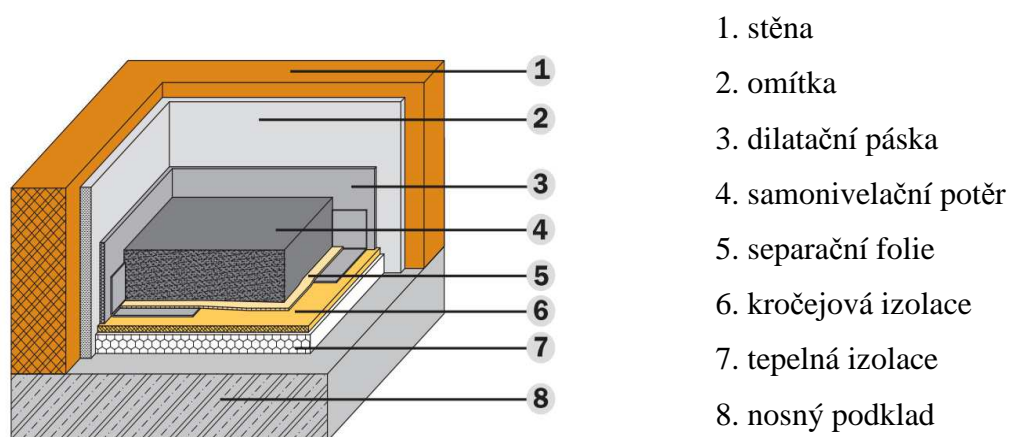
Potěr oddělený od podkladu separační vrstvou se používá, zejména pokud nelze zajistit soudržnost s podkladem (např. zaolejované staré podklady nebo podklady s nátěrem) nebo tam, kde chceme vyloučit promítnutí trhlín z podkladu do potěru (v trhlínách nesmí docházet k pohybu ve svislém směru). Tento potěr je ve svislém směru podpírán podkladem a ve vodorovném směru se může deformovat nezávisle na podkladu. Tloušťky vrstev se v tomto případě obvykle pohybují v rozmezí 20–40 mm. [5]



Obrázek 10 - Oddělený potěr [9]

### 5.3.3 Plovoucí potěr

Kvůli nutnosti izolovat prostory v různých podlažích proti přenosu kročejového hluku je plovoucí potěr nejčastějším typem v bytových a občanských stavbách. Tento potěr působí zcela nezávisle na podkladu podlahy, a to jak ve vodorovném, tak i ve svislém směru. Jeho únosnost závisí nejen na tloušťce a mechanických vlastnostech vlastního potěru, ale velmi výrazně také na stlačitelnosti zvukové či tepelné izolace pod potěrem. Provádí se v tloušťkách od cca 40 mm. [5]



Obrázek 11 - Plovoucí potěr [9]

## 5.4 Samonivelační stěrky

Samonivelační stěrky jsou dnes klasifikovány dle ČSN EN 13813 *Potěrové materiály a podlahové potěry*, tzn., že jsou zahrnuty do jedné výrobní skupiny s běžnými cementovými potěry, ale i samonivelačními potěry na bázi síranu vápenatého. Ve smyslu tradičního chápání členění podlahových vrstev dle tloušťky a způsobu aplikace se však

samonivelační stěrky významně liší od běžných cementových potěrů především materiálovým složením, obvyklou aplikační tloušťkou a způsobem aplikace. [7]

Materiál	Obvyklá aplikační tloušťka	Typ	Materiálové složení pojiva	Způsob aplikace
Samonivelační stěrky	5-15 mm	cementové	OPC + CAC + $\text{SO}_4^{2-}$ + RPP ( $< 2\%$ )	Strojní nebo ruční lití
		polymercementové	OPC + CAC + $\text{SO}_4^{2-}$ + RPP ( $> 2\%$ )	
		sádrové	anhydrit/ $\alpha$ -hemihydrát	
Potěry	15-60 mm	cementové	OPC (RPP)	Ruční rozprostření/vibrace
		sádrové	anhydrit/ $\alpha$ -hemihydrát	Strojní nebo ruční lití

Vysvětlivky: OPC – portlandský cement, CAC – hlinitanový cement,  $\text{SO}_4^{2-}$  - zdroj síranových anionů (anhydrit/ $\alpha$ -hemihydrát), RPP – redispergovatelný polymerní prášek

Tabulka 1 - Materiálové a aplikační rozdíly mezi samonivelačními stěrkami a běžnými potěry [7]

### 5.4.1 Druhy samonivelačních stěrek

#### Rozdělení dle báze

- Cementové

Jsou nejrozšířenější a používají se na běžné podklady, jako je beton, cementový potěr nebo stávající dlažby, například při rekonstrukcích.

- Polymercementové

Použití i aplikace jako klasické cementové hmoty. Tyto stěrky obsahují polymerní složku, která je vnášena do klasické hmoty během výroby ve formě tzv. redispergovatelných polymerů.

- Anhydritové

Jsou doporučovány na veškeré stabilní podklady, tedy beton, cementový potěr, anhydritový potěr, původní keramické dlažby, litý asfalt. Obliba těchto hmot spočívá v relativně snadném zpracování s eliminací objemových změn, ale i ekologický faktor, jehož význam u těchto hmot neustále roste. Nulový vliv na zdraví zpracovatelů i uživatelů posunuje anhydritové stěrky stále více do bytové a občanské výstavby.

#### Rozdělení dle typu použití

- Stěrky vyrovnávací (podkladní) pod podlahové krytiny případně též pod svrchní stěrky finální
- Stěrky finální (vyrovnávací a zpevňující) pro přímé vyrovnání podkladů, resp. stěrek vyrovnávacích
- Stěrky speciální (rychletuhnoucí, k zalévání podlahového topení, s vláknitou výztuží na přetvárné podklady atd.) [ 7 ]

### **5.4.2 Výhody a nevýhody samonivelačních stěrek**

K hlavním výhodám samonivelačních stěrek ve srovnání s běžnými cementovými tenkovrstvými potěry patří:

- Vysoká rovinatost, bezpečně splňující obvyklý požadavek max. 2 mm/2 m
- Vysoká aplikační produktivita, která při strojní aplikaci v obvyklé tloušťce stěrkové vrstvy 5 mm může být až 2500 m<sup>2</sup> za směnu
- Objemová stabilita bez nutnosti provádění řízených smršťovacích dilatací, resp. řezání smršťovacích spár
- Brzká zatížitelnost: pochůznost po 2–6 hodinách od aplikace, některé síranové stěrky po 24 hodinách
- Deklarované hodnoty přídržností na většině běžných podkladů (beton, keramika) dle typu a pevnostní třídy stěrky od min. 0,5 N.mm<sup>-2</sup> do min. 2 N.mm<sup>-2</sup>

K nevýhodám samonivelačních stěrek patří:

- Nevhodnost většiny samonivelačních stěrek k použití v exteriéru a trvale vlhkém prostředí
- Nevhodnost pro spády nad 1 %
- Nevhodnost do horkých prostředí: síranové max. 80 °C, cementové a polymercementové maximálně 180 °C [7][8]

### **5.5 Ukládání samonivelačních potěrů**

Při zhotovování menších ploch a objemů se ukládání provádí ručně, kdy se směs připravuje nejčastěji pomocí ručních mísidel. Dalším způsobem je ukládání strojové. Potěr

se nanáší v pracovní ploše rovnoměrně, s ústím hadice co nejbližší k povrchové hladině. Nedoporučuje se pokládání hadice na podklad a rozhrnování potěru z jednoho místa. Při aplikaci na separační vrstvu, tvořenou překrytými, vzájemně nespojenými pásy folie je potřeba postupovat tak, aby potěr nezatékal pod horní folii – to znamená, že se s aplikací postupuje proti směru pokládky pásů. Po dosažení potřebné tloušťky potěrové vrstvy se odstraní nivelační značky a potěr se pomocí pěchovací tyče homogenizuje, zarovná a odvzdušní. Úprava se provádí nejprve v jednom směru, kdy se potěr vyrovnává krátkými vibračními pohyby v celé tloušťce a následně v kolmém směru se jemně zarovná vibrací pouze v horní polovině až třetině své tloušťky.

## **6. ADITIVA**

### **6.1 Plastifikátory a superplastifikátory**

Plastifikační přísady (plastifikátory) mají společné to, že se adsorbují na povrchu pevné fáze. Všechny pevné částice mají na povrchu kladný nebo záporný zbytkový náboj. Rozdílnost těchto nábojů způsobuje v cementové kaši nemalou elektrostatickou přitažlivost, která může mít za následek shluk těchto částic. V tomto shluku se na povrchu pevných částic váže velké množství záměsové vody a tím pádem zbývá menší množství vody na snížení viskozity (konzistence) materiálu. Plastifikátory neutralizují povrchové náboje pevných částic nebo změní všechny tyto náboje na kladné či záporné. To je příčina toho, že se cementová zrna elektrostaticky odpuzují a zůstávají rozptýlené (dispergované), a tak se na ně váže menší množství vody a viskozita cementové kaše je menší.

Rozptýlením částic cementu se hydrataci vystavuje větší povrch cementu. To má za následek zrychlení hydratace v počátečním stádiu a následné zvýšení pevnosti. Také rovnoměrné rozmístění cementu v objemu betonu má za následek zvýšení zejména počáteční pevnosti. Nebo může být přidáno menší množství záměsové vody při zachování stejné konzistence ovšem za použití plastifikační přísady, čemuž může být přisouzen nárůst pevnosti betonu v tlaku.

Plastifikační přísady ovlivňují rychlost hydratace, ale vlastní hydratační produkty ani strukturu cementového kamene nemění. Mohou však svým rozptýlením způsobit částečné provzdušnění. To vede k nežádoucímu snížení pevnosti betonu, ale zároveň také ke zlepšení zpracovatelnosti. Kompenzace částečného snížení pevnosti betonu je zajištěna snížením vodního součinitele, které plastifikátor umožňuje. Plastifikátory ovlivňují

zpracovatelnost všech druhů cementových kompozitů. Účinnost přísady je spjatá s dávkou cementu, vody a použitého kameniva, závisí na přítomnosti provzdušňovací přísady, pucolánu a také na teplotě.

Superplastifikátory umožňují výrazně redukovat potřebné množství záměsové vody při zachování vodního součinitele (minimálně o 12 %). Jsou tedy účinnější než obyčejné plastifikátory. To má značný vliv na vlastnosti čerstvého i zatvrdlého betonu. Účinnost superplastifikátoru zvyšuje větší molární hmotnost, určitou roli hraje i vlastní chemická podstata, ne však rozhodující. Mnohem významnější je chemické složení cementu. Princip působení superplastifikátorů spočívá v obalení zrn cementu dlouhými molekulami účinné složky přísady. Sulfonové skupiny řetězce polymeru zvýší negativní náboj na povrchu cementových zrn, který zabezpečí deflokulaci a disperzi (rozptýlení) částic. Cementová zrna mají větší pohyblivost a voda, která se uvolnila během deflokulace, plní funkci maziva.

Superplastifikátory v zásadě nemění strukturu cementového kamene. Jejich hlavní vliv se projevuje v lepší distribuci cementových částic a s tím spojenou lepší hydratací. Při překročení optimální dávky už se konzistence čerstvého betonu mění jen minimálně. Dávku určuje výrobce a pohybuje se mezi 0,6 a 1 % hmotnosti cementu. Při vysokých dávkách je nutné, aby byl cement kompatibilní. [4]

Podle složení makromolekulárního řetězce můžeme plastifikátory a superplastifikátory rozdělit do čtyř skupin:

- Plastifikátory na bázi lignosulfonanů
- Plastifikátory na bázi naftalenu
- Plastifikátory na bázi melaminu
- Plastifikátory na bázi modifikovaných polykarboxylátů

## **6.2 Provzdušňovací přísady**

Provzdušňovací přísady obsahují povrchově aktivní látky, které se nacházejí na rozhraní vzduch-voda, snižují povrchové napětí, tím mohou vznikat stabilizované vzduchové bublinky. Povrchově aktivní látky se skládají z molekul se silnou polární povahou. Jejich hydrofilní skupiny se orientují směrem k vodě a hydrofobní skupiny směrem do vzduchu. Hydrofilnost molekuly zabezpečují karboxylové nebo sulfonové

skupiny kyselin a hydrofobnost zase aromatické uhlovodíky. Provzdušňovací schopnost přísady je závislá na vlastnostech jednotlivých složek směsi. Větší množství drobného kameniva a přidavek jemných částic (např. popílek) snižuje obsah vzduchu. Také zaleží na jemnosti mletí cementu, jemnější částičky cementu taktéž snižují obsah vzduchu. V neposlední řadě může být provzdušnění ovlivněno i tvarem zrn kameniva, popřípadě dalšími přísadami. Velký vliv na obsah vzduchu má i doba míchání. Při velmi krátkém míchání se přísada nestačí dobře rozprostřít do celého objemu směsi, při dlouhém míchání se zase vzduch už ze směsi začíná vypuzovat. [4]

### **6.3 Zpomalovací (retardační) přísady**

Zpomalovací přísady se vyrábí z lignosulfonových kyselin a jejich solí, hydrokarboxylových kyselin a jejich solí, cukrů a derivátů cukrů a z anorganických solí. Přísady na bázi lignosulfonanů a karboxylátů mají vedle zpomalovacích i plastifikační účinky. Dobrymi zpomalovačem jsou i anorganické soli (např. fosforečnany, zinečnany, boritany a olovnaté soli), jejich výroba je však drahá a jejich účinky se nesnadno regulují, proto jejich využití není tak časté. [4]



## **7. PRAKTICKÁ ČÁST**

### **7.1 Popis použitých zkoušek pro stanovení fyzikálně-mechanických vlastností**

#### **Stanovení objemových hmotností [ČSN EN 13892]**

Stanovení objemové hmotnosti proběhlo na trámcích o rozměrech 40 x 40 x 160 mm připravených pro zkoušku pevnosti v tahu za ohybu. Jednotlivé vzorky byly zváženy a změřeny. Měření proběhlo v souladu s požadavky ČSN EN 13892 „Zkušební metody potěrových materiálů“.

Objemová hmotnost:

$$OH = \frac{m}{V} \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

OH – objemová hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

m – hmotnost [kg]

V – objem vzorku [ $\text{m}^3$ ]

#### **Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku [ČSN EN 13892-1, ČSN EN 13892-2]**

Pevnost v tahu za ohybu se zkouší na normových tělesech o rozměrech 40 x 40 x 160 mm připravených dle požadavků ČSN EN 13892-1. Pevnost v tlaku se zkouší dle požadavků ČSN EN 13892-2 na zlomcích těles vzniklých po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu. Pevnosti se zkouší pomocí zkušebního zařízení, které je schopné vyvolat kontinuálně narůstající zatížení na mechanismus namáhající zkušební těleso a zároveň schopné měřit sílu zatížením vyvolanou. Všechna stanovení probíhají kolmo na směr ztuhnutí. Zapiše se síla potřebná k porušení tělesa a vypočte průměrná pevnost tělesa v tlaku a v tahu za ohybu.

#### **Vztahy pro výpočet:**

Pevnost v tahu za ohybu:

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$$

$R_f$  – pevnost v tahu za ohybu [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]

$F_f$  – zatěžovací síla [N]

$l$  – rozpětí podpěr [mm] (100 mm)

$b$  – šířka trámce [mm]

$h$  – výška trámce [mm]

Pevnost v tlaku:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad [\text{N.mm}^{-2}]$$

$R_c$  – pevnost v tlaku [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]

$F_c$  – zatěžovací síla [N]

$A$  – zatěžovací plocha [ $\text{mm}^2$ ]

Vypočtené hodnoty se uvedou s přesností na  $0,1 \text{ N.mm}^{-2}$

### **Koeficient konstruktivnosti**

Tento koeficient je stanoven jako poměr pevnosti v tlaku a objemové hmotnosti.

$$K_k = \frac{R_c}{OH} \cdot 100 \quad [-]$$

$R_c$  – pevnost v tlaku [ $\text{N.mm}^{-2}$ ]

$OH$  – objemová hmotnost [ $\text{kg.m}^{-3}$ ]

### **Stanovení tvrdosti povrchu [ČSN EN 13892-6]**

Tvrdość povrchu se stanoví, jako hloubka vtlačení ocelové kuličky, umístěné na povrchu zkušebního tělesa pod normalizovaným tlakem. Tvrdość povrchu se vypočítá jako podíl zatížení, vyvozeného na ocelovou kuličku a plochy vtlačení vypočtené z hloubky vtlačení.

$$SH = \frac{F}{d \cdot \pi \cdot t} \quad [\text{N.mm}^{-2}]$$

$t$  – hloubka vtlačení

$F_v$  – počáteční zatížení ( $10 \pm 0,1$ ) N

$F$  – hlavní zatížení ( $500 \pm 5$ ) N

$SH$  – tvrdość povrchu vypočtená z výsledků zkoušky



Obrázek 12 - Hopplerůvkonzistometr [autor]

### **Stanovení konzistence**

Stanovení konzistence bylo prováděno dle Haegermanna. Optimální hodnota rozlití samonivelační směsi by se měla pohybovat mezi 220 – 250 mm. Maximální hodnota rozlití je pak 260 mm. Rozměry Haegermannova kužele jsou 60/70/100 mm (výška/horní/dolní průměr).



Obrázek 13- Haegermannův kužel [autor]



Obrázek 14 – Měření rozlití [autor]

## 7.2 Výběr a popis vhodných surovin

V této části budou popsány suroviny, které byly použity pro navržení jednotlivých lehčených směsí se samonivelační schopností.

### Liaver

Jedná se o granulát z expandovaného skla, který vyráběn z recyklovaného skla patentovanou technologií. Upravené, rozdrcené sklo se jemně rozemele, zamíchá a zhutní. Následně je sinterováno a expandováno v peci při teplotách od 750°C do 900°C. Vzniká tak ekologický produkt vyráběný z minerálních surovin. Tento produkt je nejedovatý a bez nebezpečných příměsí, lehký a odolný proti tlaku (min. sypná hmotnost  $< 200 \text{ g.l}^{-1}$  a pevnost zrna  $\text{Ca} > 2 \text{ N.mm}^{-2}$  podle DIN EN 13055-1), výborná izolace proti chladu a teplu ( $\lambda = 0,07 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ), nehořlavý: A1 podle DIN 41022, odolný proti kyselinám, louhům a organickým rozpouštědlům, biologicky nenapadnutelný, odolný proti mrazu a tvarově stálý při teplotách do 750°C. Je vhodný pro suché malty, lehčené omítky, lehčené betony a další. Produkt je vyráběn v mnoha frakcích, v praktické části byly použity celkem čtyři, a to 0,25-0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm, 2-4 mm. [18]

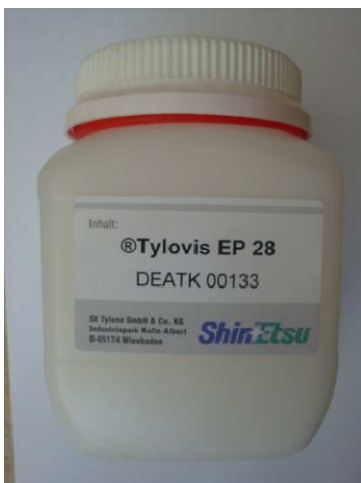


Obrázek 15 - Lehčené kamenivo Liaver [18]

### Tylovis EP 28

Tylovis EP 28 je disperzní a povrchově aktivní látka pro cement, vápnité a sádrové omítky, malty a stěrky. Polymerizační produkt propylenových a ethylenových oxidů. Jemné částice anorganických pojiv a pigmentů jsou poměrně lépe rozptýleny po celé směsi. Tylovis EP 28 prodlužuje dobu zpracovatelnosti, zejména v konečné fázi. Používá se také jako provzdušňující přísada. V matici materiálu vytváří jemné póry po zamíchání a během zrání. Tylovis EP 28 je kompatibilní se všemi druhy anorganických pojiv a plniv,

urychlovače, zpomalovače atd. Dávkování se pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,05 % z hmotnosti pojiva nebo suché směsi. [19]



Obrázek 16 - Tylovis EP 28 [autor]



Obrázek 17 - Tylovis EP 28 [autor]

### **Hostapur OSB**

Hostapur OSB je přípravek se silnými provzdušňujícími, zvlhčujícími a plastifikačními účinky, který je vhodný pro suché minerální premixované omítky. Hostapur OSB tvoří vzduchové póry s vynikající stabilitou, snižuje smrštění zejména u cementové a vápenocementové malty a zabraňuje tvorbě trhlin. Dalšími výhodami jsou vyšší odolnost proti mrazu a snížená tendence ke tvorbě výkvětů ve ztvrdlé maltě. Hostapur OSB vede k lepšímu smáčení a rozptýlení stavebních materiálů směsí, snižuje lepivost a zlepšuje zpracovatelnost a čerpatelnost mokré malty.

Doporučená koncentrace by měla být 0,005 až 0,05% hmotnostních, počítáno na hmotnost suché malty. [19]

### **7.3 Návrh a odzkoušení receptur lehčených směsí se samonivelačními schopnostmi**

Jedná se o hlavní kapitolu praktické části diplomové práce. Budou zde navrženy receptury lehčených směsí se samonivelační schopností, které budou uvedeny v tabulce. Následně budou všechny receptury laboratorně odzkoušeny a budou stanoveny fyzikálně-mechanické vlastnosti jednotlivých receptur, jejichž hodnoty budou uvedeny v souhrnných tabulkách a následně bude provedeno přehledné grafické srovnání pro jednotlivé fyzikálně-mechanické vlastnosti.

#### **7.3.1 Návrh a odzkoušení receptur s použitím pouze lehčeného kameniva Liaver jako částečné náhrady plniva**

Jako první byly navrženy receptury, u kterých dochází k vylehčení matrice pouze nepřímým způsobem pomocí lehčeného kameniva Liaver. U receptur s označením K dochází k postupnému nahrazování písku frakce 0-4 mm právě Liaverem ve čtyřech frakcích. U receptury V je postupně přidáván uhličitán vápenatý od minimálního množství.

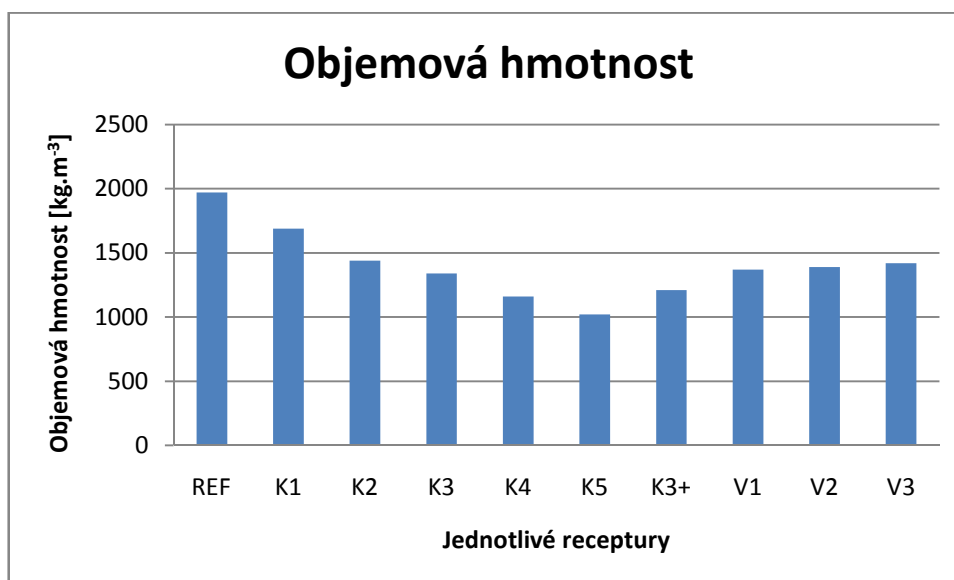
Suroviny		Receptury									
		REF	K1	K2	K3	K4	K5	K3+	V1	V2	V3
Písek 0-4 mm		40,4	36,4	32,4	28,4	24,4	20,4	28,1	42,4	34,9	27,4
Cement I 42,5R		28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	28,6	30,0	30,0	30,0
Popílek		9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	10,0	10,0	10,0
Mletý uhličitán vápenatý		14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	14,3	5,0	10,0	15,0
Drcený uhličitán vápenatý		4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	0,0	2,5	5,0
Superplastifikátor		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5
Zpomalovač tuhnutí		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Disperze		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	0,0	0,0	0,0
Liaver	0,25-0,5 mm	0,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	6,0	6,0	7,0
	0,5-1 mm	0,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	6,0	6,0	7,0
	1-2 mm	0,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	0,0	0,0	2,0
	2-4 mm	0,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	0,0	0,0	0,0
Tylovis EP 28		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hostapur OSB		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabulka 2 - Receptury s použitím Liaveru jako nepřímého vylehčení

Receptury	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]	Mikrotvrdost povrchu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Koeficient konstruktivnosti [-]
REF	1970	5,3	31,3	6,96	1,6
K1	1690	5,2	23,9	2,24	1,4
K2	1440	3,9	18	2,05	1,3
K3	1340	4,3	16,7	2,92	1,2
K4	1160	3,1	12,9	2,49	1,1
K5	1020	2,9	9,2	1,96	0,9
K3+	1210	2,9	10,7	3,00	0,9
V1	1370	1,5	12	2,18	0,9
V2	1390	2,9	14,2	2,37	1,0
V3	1420	2,1	14,7	2,36	1,0

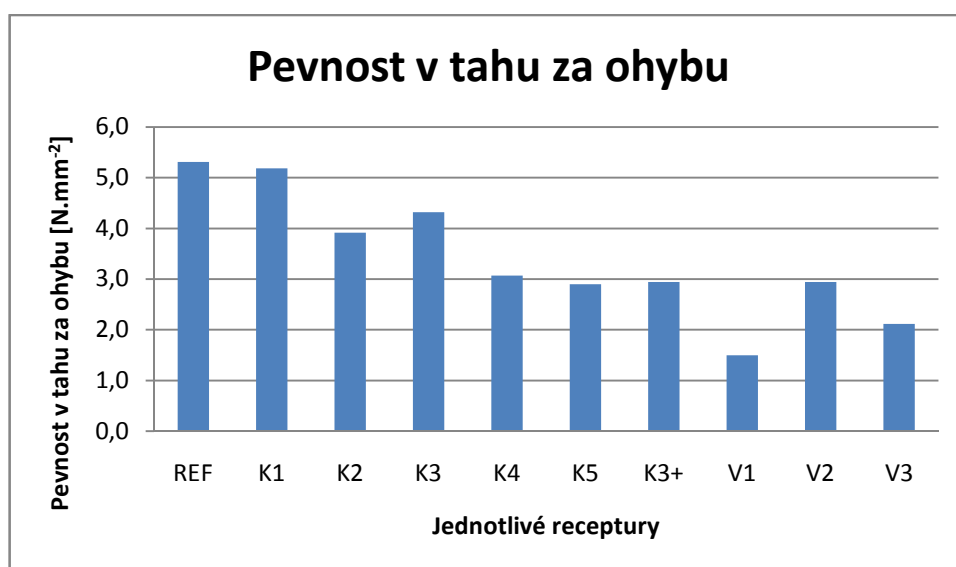
Tabulka 3 - Zjištěné fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s Liaverem

V tabulce 3 jsou souhrnně uvedeny všechny stanovené fyzikálně-mechanické vlastnosti pro receptury s nepřímým vylehčením matrice. Jedná se o objemovou hmotnost, pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku, mikrotvrdost povrchu a koeficient konstruktivnosti. Všechny tyto hodnoty jsou postupně vyneseny v grafech pro jednotlivé vlastnosti.



Graf 1 - Objemové hmotnosti receptur s Liaverem

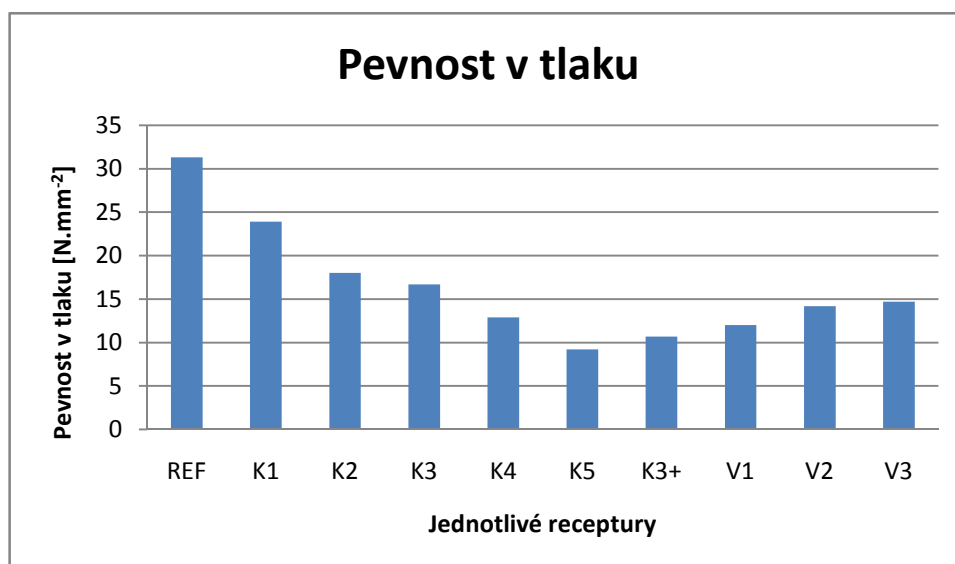
Z grafu objemové hmotnosti vyplývá, že přidavek lehčeného kameniva Liaver jako náhrady klasického kameniva se zvětšující se dávkou postupně snižuje objemovou hmotnost oproti referenční receptuře. Ta má objemovou hmotnost  $1970 \text{ kg.m}^{-3}$  a receptura K5 s největší dávkou Liaveru se dostává téměř na polovinu této hodnoty a to na  $1020 \text{ kg.m}^{-3}$ . U receptur V, které oproti ostatním neobsahují polymerní disperzi a také nejvyšší frakci 2 - 4 mm kameniva Liaver, se objemová hmotnost pohybuje kolem hodnoty  $1400 \text{ kg.m}^{-3}$ .



Graf 2 - Pevnosti v tahu za ohybu receptur s Liaverem

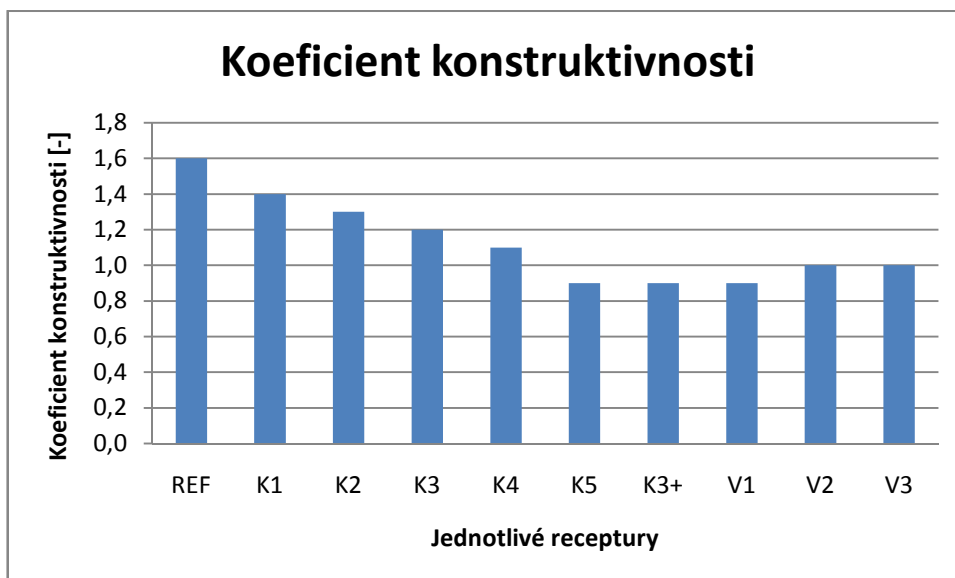
U pevností v tahu za ohybu dochází oproti referenční ke snížení těchto hodnot. U receptur K dochází až na jednu výjimku k postupnému snižování se zvyšováním dávky Liaveru. Nejnižší hodnoty pevnosti v tahu pak dosáhla receptura V1 a to  $1,5 \text{ N.mm}^{-2}$ .





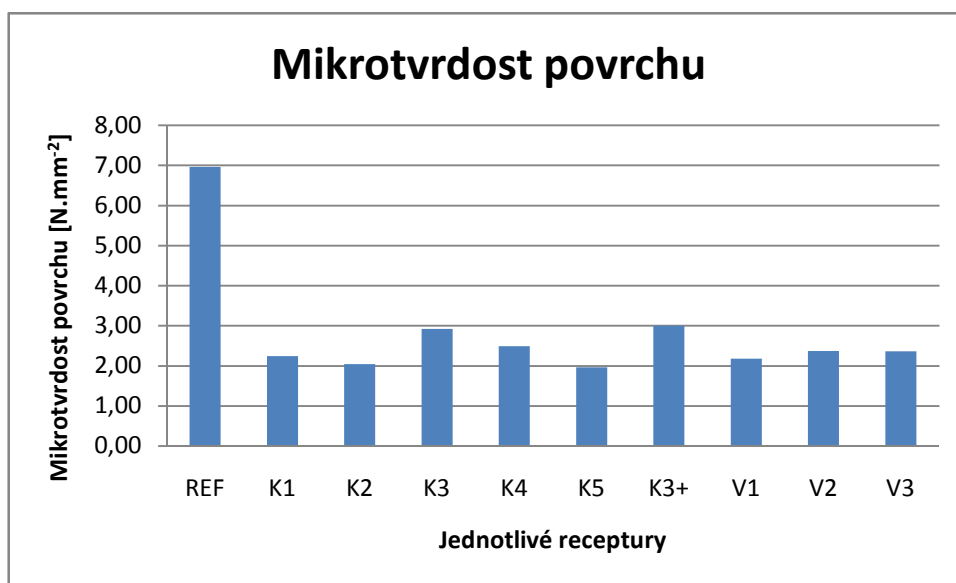
Graf 3 - Pevnosti v tlaku receptur s Liaverem

Graf pevnosti v tlaku je velmi podobný jako graf objemových hmotností. Vyplývá z něj, že se zvyšující se dávkou Liaveru a snižováním objemové hmotnosti se také snižuje pevnost v tlaku. Hodnota pevnosti u referenční receptury je  $31,3 \text{ N.mm}^{-2}$ , u receptury K5 pak klesá na hodnotu menší než 1/3 oproti referenční a to na hodnotu  $9,2 \text{ N.mm}^{-2}$ . U pevností receptur dochází k mírnému nárůstu s přidavkem uhličitanu vápenatého.



Graf 4 - Koeficienty konstruktivnosti u receptur s Liaverem

Z grafu koeficientu konstruktivnosti je zřejmé, že jeho hodnota klesá se zvyšujícím se vylehčením. Klesá tedy poměr pevnosti v tlaku a objemové hmotnosti. Znamená to, že s přidavkem Liaveru dochází k rychlejšímu snižování pevnosti v tlaku oproti objemovým hmotnostem. Tři receptury se dostávají pod hodnotu 1.



Graf 5 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s Liaverem

Jednoznačně nejvyšší hodnoty mikrotvrdosti povrchu dosahuje referenční receptura téměř  $7 \text{ N.mm}^{-2}$ . U ostatních receptur dochází k velkému snížení. Hodnoty se pohybují v rozmezí od 2 do  $3 \text{ N.mm}^{-2}$ .

### **7.3.2 Návrh a odzkoušení receptur s užitím provzdušňovací přísady Hostapur i v kombinaci s lehčeným kamenivem Liaver**

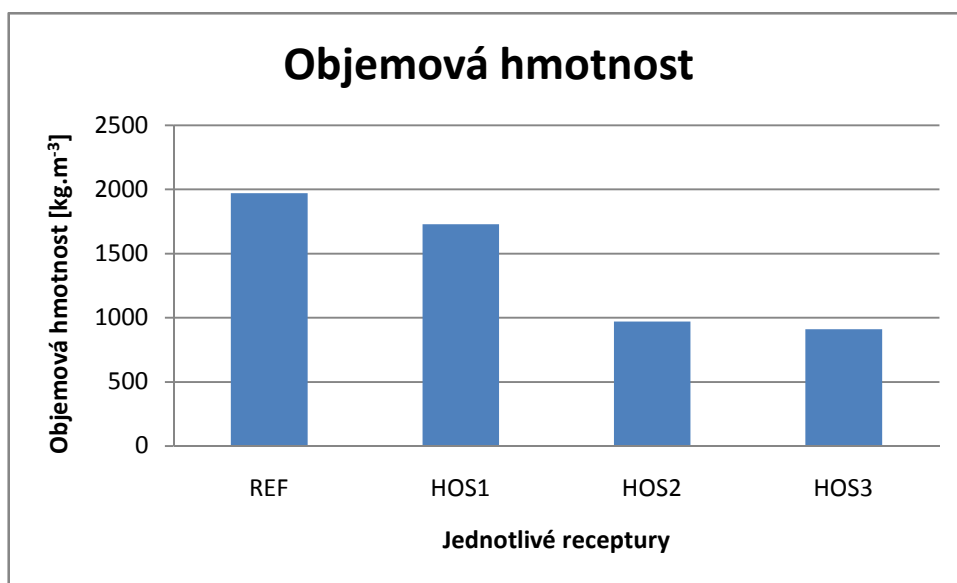
V této části jsou receptury navrženy s kombinací přímého a nepřímého vylehčení a to pomocí provzdušňovací přísady Hostapur OSB a lehčeného kameniva Liaver. Byly navrženy celkem 3 receptury.

Suroviny		Receptury		
		HOS1	HOS2	HOS3
Písek 0-4 mm		40,0	24,2	39,5
Cement I 42,5R		28,6	30,0	30,0
Popílek		9,5	0,0	10,0
Mletý uhličitán vápenatý		14,3	20,0	0,0
Drcený uhličitán vápenatý		4,8	10,0	0,0
Superplastifikátor		0,5	0,5	0,0
Zpomalovač tuhnutí		0,1	0,1	0,1
Disperze		1,9	0,0	0,0
Liaver	0,25-0,5 mm	0,0	5,0	4,0
	0,5-1 mm	0,0	5,0	4,0
	1-2 mm	0,0	5,0	4,0
	2-4 mm	0,0	5,0	4,0
Hostapur OSB		0,4	0,2	0,4

Tabulka 4 - Receptury s použitím Hostapuru OSB a Liaveru

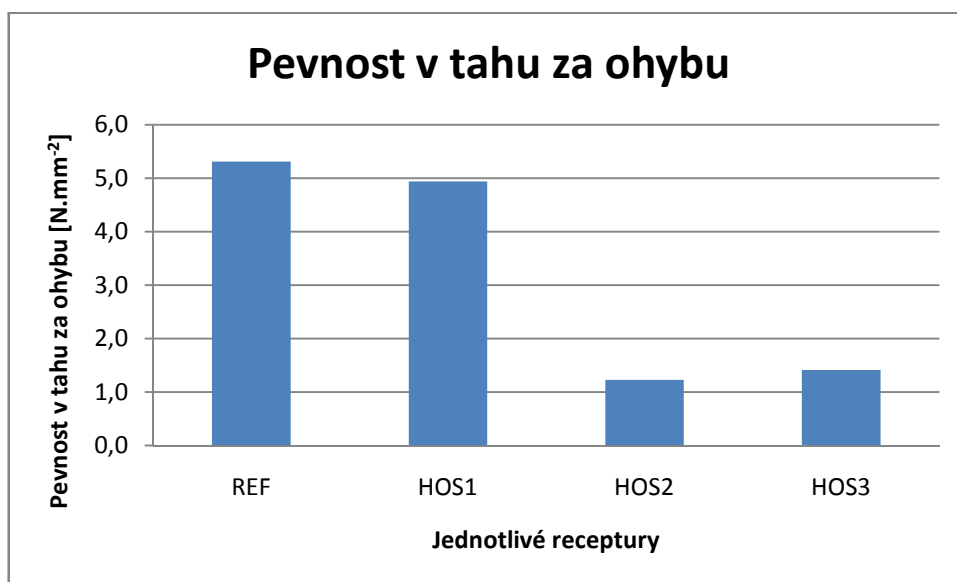
Receptury	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]	Mikrotvrdost povrchu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Koeficient konstruktivnosti [-]
HOS1	1730	4,9	14,1	5,80	0,8
HOS2	970	1,2	2,7	2,00	0,3
HOS3	910	1,4	1,9	1,12	0,2

Tabulka 5- Zjištěné fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s použitím Hostapuru OSB a Liaveru



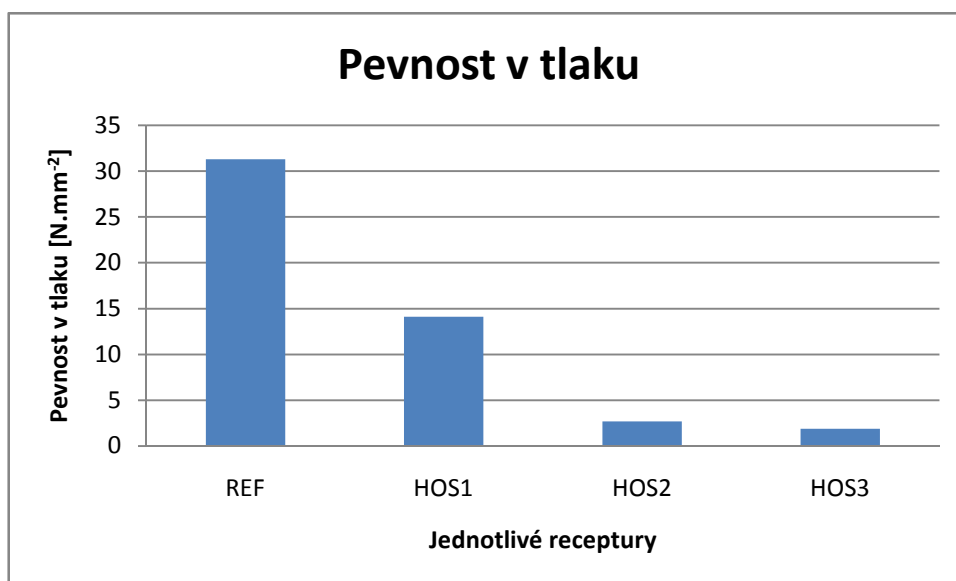
Graf 6 - Objemové hmotnosti receptur a Hostapurem OSB a Liaverem

U receptur s kombinací Hostapuru a Liaveru dochází ke snížení objemových hmotností. Receptura HOS 1, která je vylehčena pouze pomocí Hostapuru OSB dosahuje snížení na  $1730 \text{ kg.m}^{-3}$  oproti referenční receptuře. Receptury HOS2 a HOS3 se dostávají dokonce pod hranici  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ , hlavně díky velkému množství Liaveru. Jde o zhruba polovinu objemové hmotnosti referenční receptury.



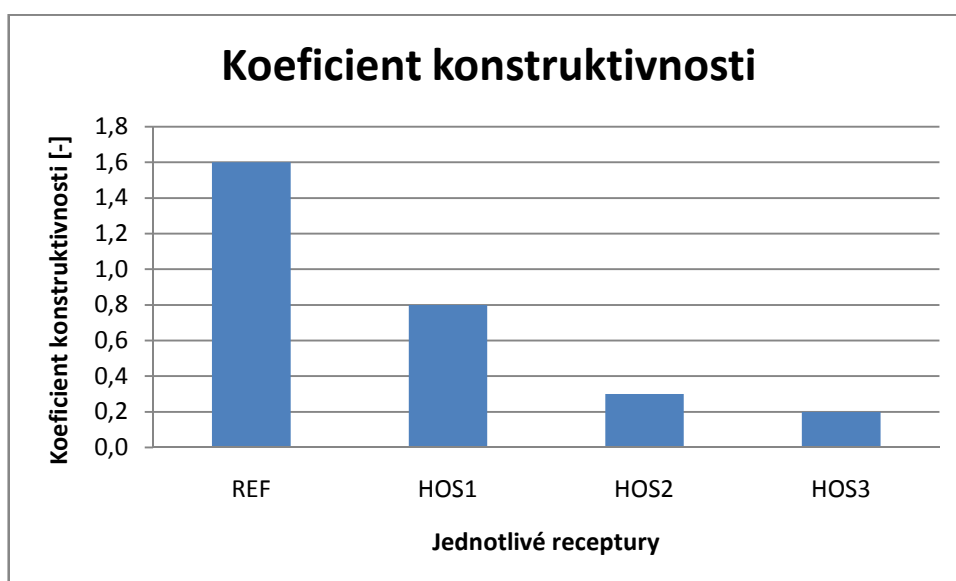
Graf 7 - Pevnosti v tahu za ohybu receptur a Hostapurem OSB a Liaverem

Receptura HOS1 dosahuje téměř stejné hodnoty pevnosti v tahu za ohybu jako referenční. U zbylých dvou receptur dochází k velkému snížení hodnot, nejnižší pevnost má pak receptura HOS2 s hodnotou  $1,2 \text{ N.mm}^{-2}$ .



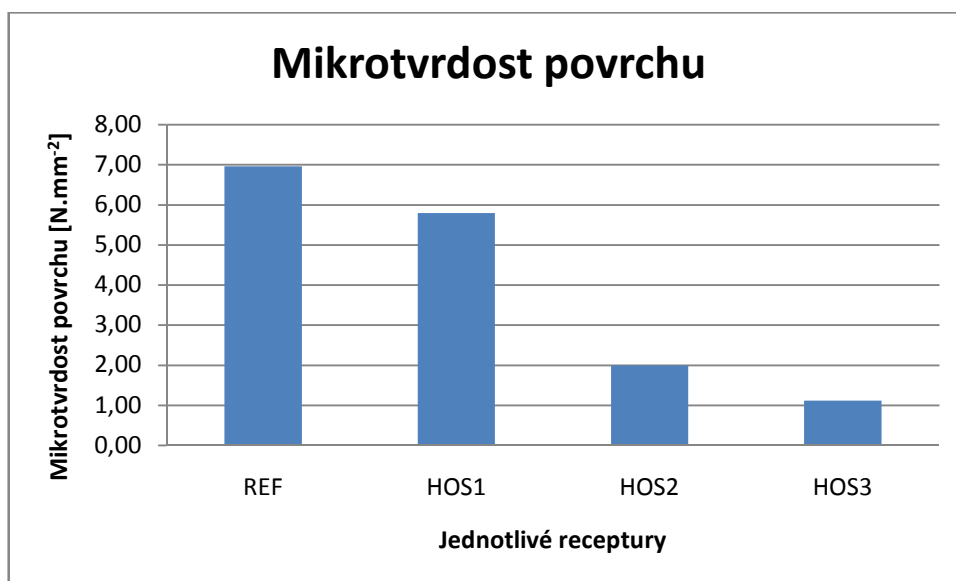
Graf 8 - Pevnosti v tlaku receptor s Hostapurem OSB a Liaverem

U pevností v tlaku dochází k velkému snížení u receptor HOS2 a HOS3 na hodnoty 2,7 a 1,9 N.mm<sup>-2</sup>. Tyto hodnoty jsou z hlediska pevnosti v tlaku nevyhovující. Receptura HOS1 dosahuje pevnosti 14,1 N.mm<sup>-2</sup>.



Graf 9 - Koeficienti konstruktivnosti receptor s Hostapurem OSB a Liaverem

Koeficient konstruktivnosti u HOS2 a HOS3 je vzhledem k minimálním pevnostem v tlaku také na velmi nízkých hodnotách 0,3 a 0,2. U receptury HOS1 dosahuje hodnoty 0,8 což je přesně polovina receptury referenční.



Graf 10 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s Hostapurem OSB a Liaverem

Nejvyšší hodnoty mikrotvrdosti povrchu dosáhla receptura HOS1 a to 5,8 N.mm<sup>-2</sup>. Receptura HOS2 má 2,00 N.mm<sup>-2</sup>, HOS3 má hodnotu nejnižší a to 1,12 N.mm<sup>-2</sup>.

### **7.3.3 Návrh a odzkoušení receptur s kombinací provzdušňovací přísady Tylovis a lehčeného kameniva Liaver**

V této části byly navrženy receptury, u kterých bylo zvoleno kombinace vylehčení pomocí provzdušňovací přísady Tylovis EP 28 a lehčeného kameniva Liaver. U receptur C bylo mírně sníženo obsahu cementu oproti referenční. U receptur BP nebyl v recepturách použit popílek. U receptur LT bylo zároveň snižováno množství Liaveru a přidáváno Tylovisu EP28.

Suroviny		Receptury							
		C1	C2	C3	C4	ST1	ST2	ST3	ST4
Písek 0-4 mm		26,8	26,8	31,6	33,6	27,1	27,0	26,8	27,6
Cement I 42,5R		25,0	25,0	25,0	25,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Popílek		8,0	15,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Mletý uhlíčitán vápenatý		15,0	10,0	10,0	12,5	15,0	15,0	15,0	15,0
Drcený uhlíčitán vápenatý		10,0	10,0	10,0	7,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Superplastifikátor		0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5
Zpomalovač tuhnutí		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Disperze		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Liaver	0,25-0,5 mm	6,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	6,0
	0,5-1 mm	4,0	4,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,0	3,0
	1-2 mm	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	0,0
	2-4 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tylovis EP 28		0,4	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,8

Tabulka 6 - Receptury s kombinací Tylovisu a Liaveru

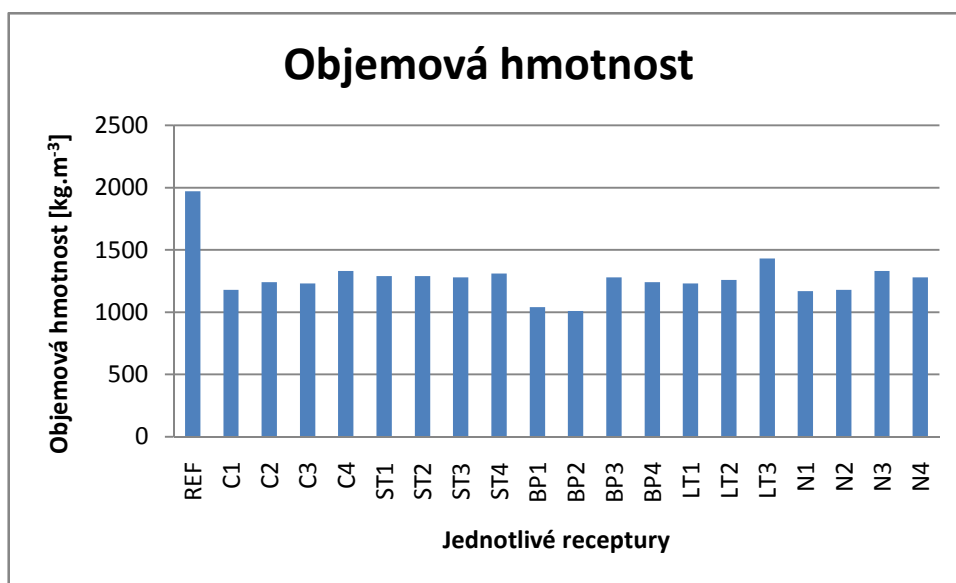
Suroviny		Receptury										
		BP1	BP2	BP3	BP4	LT1	LT2	LT3	N1	N2	N3	N4
Písek 0-4 mm		24,2	23,1	27,0	26,8	21,4	25,2	29,0	25,3	24,8	27,0	22,0
Cement I 42,5R		30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	27,0	30,0	30,0	30,0
Popílek		0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	10,0	10,0	13,0	10,0	5,0	5,0
Mletý uhlíčitán vápenatý		20,0	20,0	20,0	20,0	15,0	15,0	15,0	12,5	10,0	17,5	15,0
Drcený uhlíčitán vápenatý		10,0	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	10,0	7,5	15,0
Superplastifikátor		0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,5	0,5
Zpomalovač tuhnutí		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Disperze		0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0,0	2,0
Liaver	0,25-0,5 mm	5,0	7,0	6,0	5,0	8,0	6,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0
	0,5-1 mm	5,0	7,0	6,0	5,0	8,0	6,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,0
	1-2 mm	5,0	2,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
	2-4 mm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tylovis EP 28		0,2	0,3	0,4	0,4	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Tabulka 7 - Receptury s kombinací Tylovisu a Liaveru

Receptury	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]	Mikrotvrdost povrchu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Koeficient konstruktivnosti [-]
C1	1180	2,7	9,7	1,7	0,8
C2	1240	3,0	9,4	1,9	0,8
C3	1230	3,3	9,9	2,1	0,8
C4	1330	2,7	10,9	2,2	0,8
ST1	1290	3,2	11,2	2,69	0,9
ST2	1290	3,9	13,3	3,2	1,0
ST3	1280	3,1	10,3	2,3	0,8
ST4	1310	3,7	12,8	3,2	1,0
BP1	1040	2,2	6,5	2,02	0,6
BP2	1010	1,9	5,7	1,89	0,6
BP3	1280	3,3	11,1	2,67	0,9
BP4	1240	3,5	11	1,98	0,9
LT1	1230	4,0	17,1	2,48	1,4
LT2	1260	4,0	12,6	2,54	1,0
LT3	1430	4,7	17,9	2,96	1,3
N1	1170	2,8	10,6	2,7	0,9
N2	1180	3,0	9,7	2,3	0,8
N3	1330	3,8	12,2	3,30	0,9
N4	1280	3,5	14,5	2,5	1,1

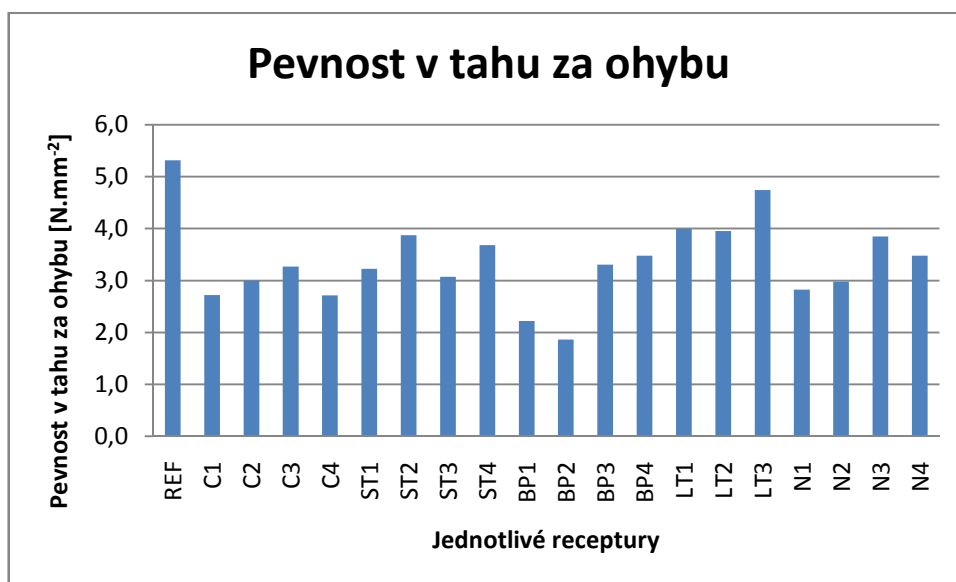
Tabulka 8 – Zjištěné fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru





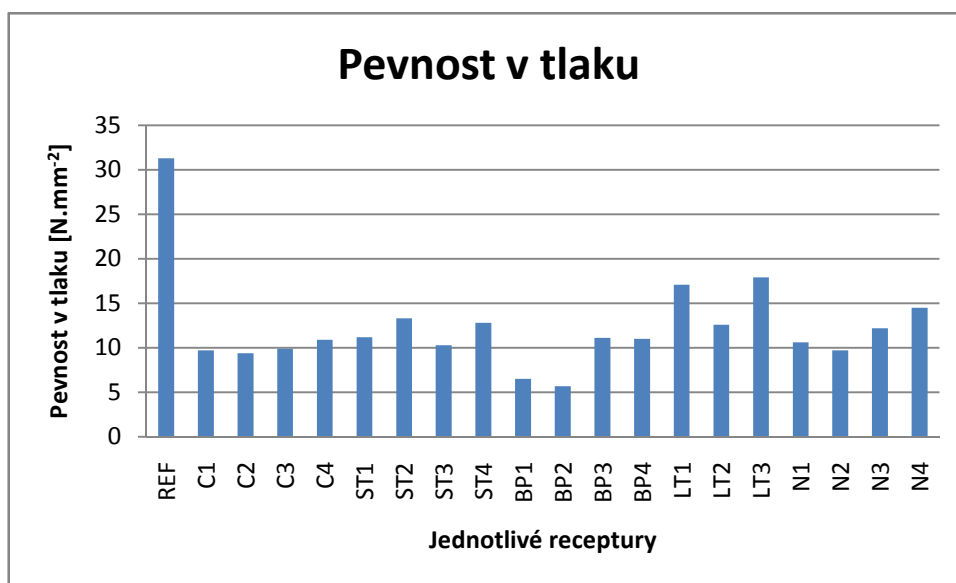
Graf 11 - Objemové hmotnosti receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru

Nejnižších objemových hmotností dosáhly receptury bez popílku a to BP1 a BP2, jejichž hodnoty byly 1040 a 1010 kg.m<sup>-3</sup>. Nejmenšího vylehčení kromě referenční dosáhla receptura LT3 1430 kg.mm<sup>-3</sup>, díky nepatrně menšímu obsahu kameniva Liaver. Ostatní se pohybovaly v rozmezí 1170 – 1330 kg.mm<sup>-3</sup>.



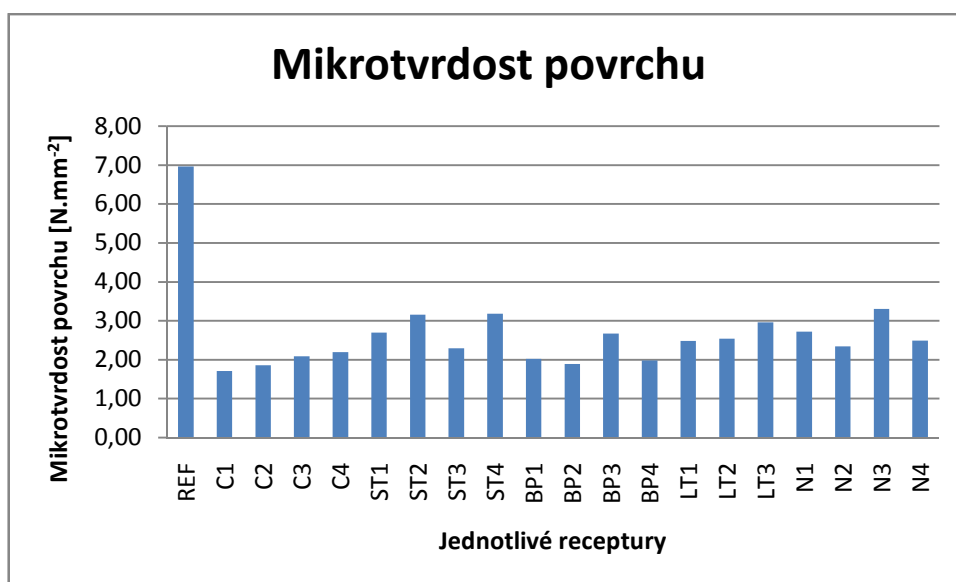
Graf 12 - Pevnosti v tahu za ohybu u receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru

Nejvyšších pevností v tahu za ohybu dosahovaly receptury LT, z nichž nejvyšší pak LT3 s 4,7 N.mm<sup>-2</sup>. Nejmenších hodnot dosáhly receptury BP1 a BP2 které neobsahovaly popílek a disperzi, přesněji 2,2 N.mm<sup>-2</sup> a 1,9 N.mm<sup>-2</sup>. Ostatní se pohybovaly v rozmezí 2,7 – 4,0 N.mm<sup>-2</sup>.



Graf 13 - Pevnosti v tlaku receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru

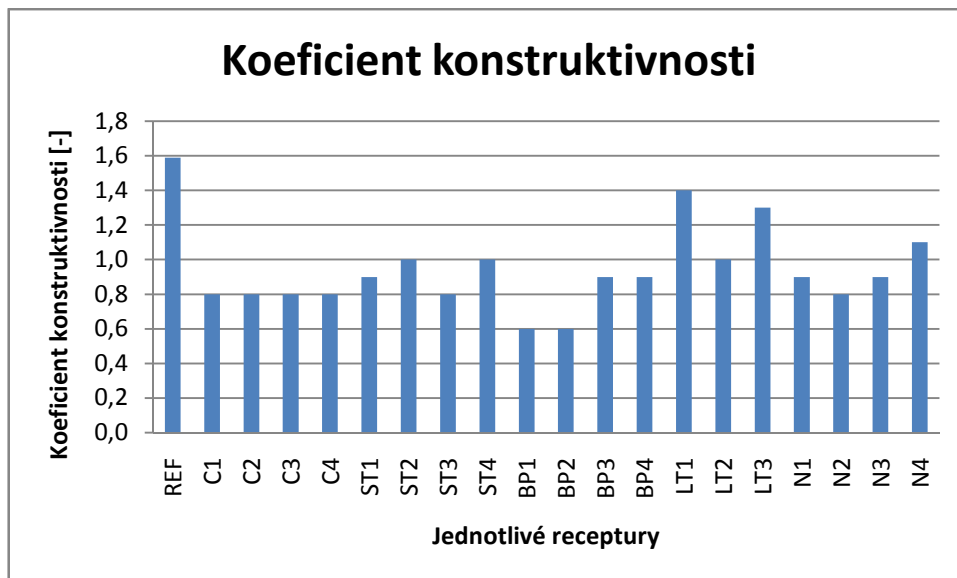
U všech receptur dochází k poměrně velkému snížení pevností v tlaku oproti referenční receptuře. Na nejvyšší hodnoty se dostali LT1 s  $17,1 \text{ N.mm}^{-2}$  a LT3 s  $17,9 \text{ N.mm}^{-2}$  s kombinací menšího množství Liaveru a větší dávkou Tylovisu. Následovala je receptura N4 s  $14,5 \text{ N.mm}^{-2}$ . Nejmenších hodnot pak dosáhly dvě nejvylehčenější receptury bez popílku a disperze BP1 a BP2 s  $6,5$  a  $5,7 \text{ N.mm}^{-2}$ .



Graf 14 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru

I u mikrotvrdosti povrchu dochází vlivem vylehčení ke znatelnému snížení. Nejmenších hodnot dosáhly receptury s mírně sníženým obsahem cementu oproti ostatním C1 a C2 s  $1,7$  a  $1,9 \text{ N.mm}^{-2}$  a také receptura bez popílku a disperze BP2 s  $1,89 \text{ N.mm}^{-2}$ .

Ostatní receptury se dostaly přes  $2,0 \text{ N.mm}^{-2}$ . Nejvyšší hodnoty pak dosáhla receptura N3  $3,3 \text{ N.mm}^{-2}$  a také ST2 a ST4 shodně s  $3,2 \text{ N.mm}^{-2}$ .

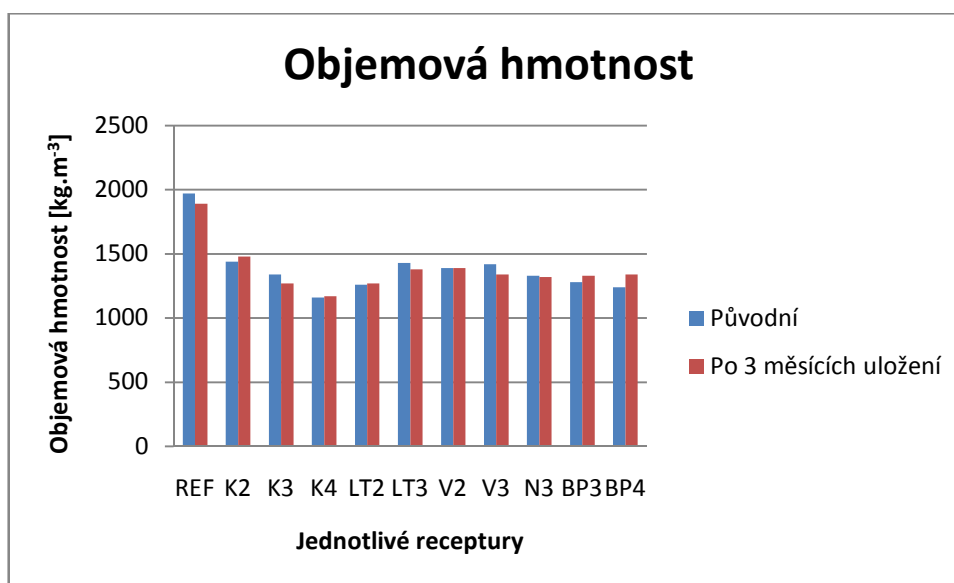


Graf 15 - Koeficienty konstruktivnosti u receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru

Kvůli nízkým pevnostem receptur bez popílku a bez disperze BP1 a BP2 byl i jejich koeficient konstruktivnosti nejmenší a klesl na hodnotu 0,6. Nejvyšší koeficient 1,4 měla receptura LT1, následovala LT3 s 1,3. U těchto receptur došlo ke znatelnému snížení objemových, přičemž jejich pevnosti v tlaku zůstávají na přijatelně vysokých hodnotách. Nad hodnotu 1, přesně 1,1 se dostala i receptura N4. Ostatní receptury se dostávají pod hodnotu 1. Znamená to, že ke snižování pevností v tlaku společně se snižováním objemových hmotností dochází rychleji, než by bylo vhodné.

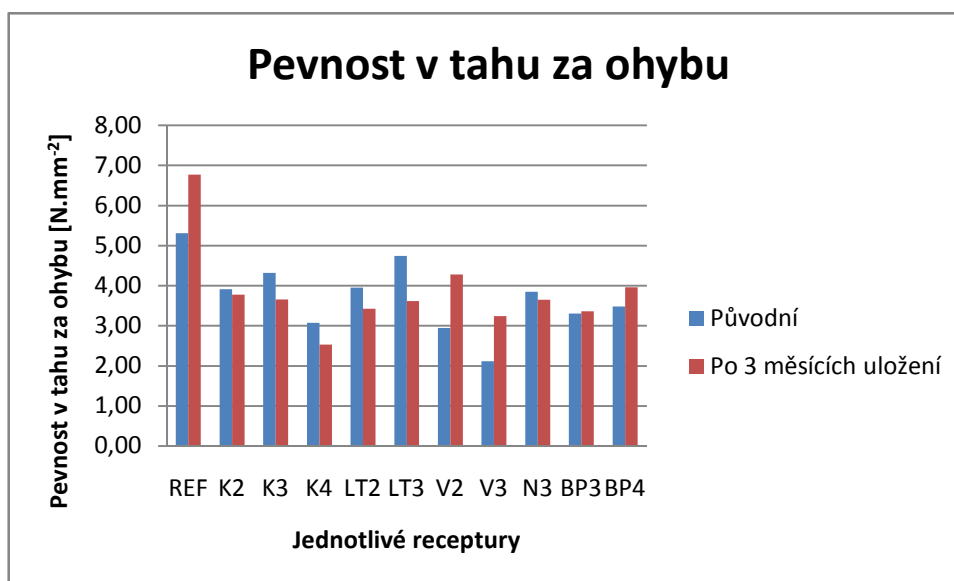
## 7.4 Ověření dlouhodobé stability suché směsi

V této části praktické části bylo úkolem stanovit stabilitu směsí a zjistit jejich vhodnost pro skladování v suchém stavu v pytlích nebo v silech. Byly vybrány směsi, které pak byly na dobu třech měsíců uloženy v neprodyšných sáčcích v suchém prostředí. Po třech měsících byly ze směsí po přidání vody vytvořeny zkušební vzorky 40x40x160 mm a byly stanoveny stejné fyzikálně-mechanické vlastnosti jako u původních vzorků. V následujících grafech je pak vidět srovnání jednotlivých vlastností.



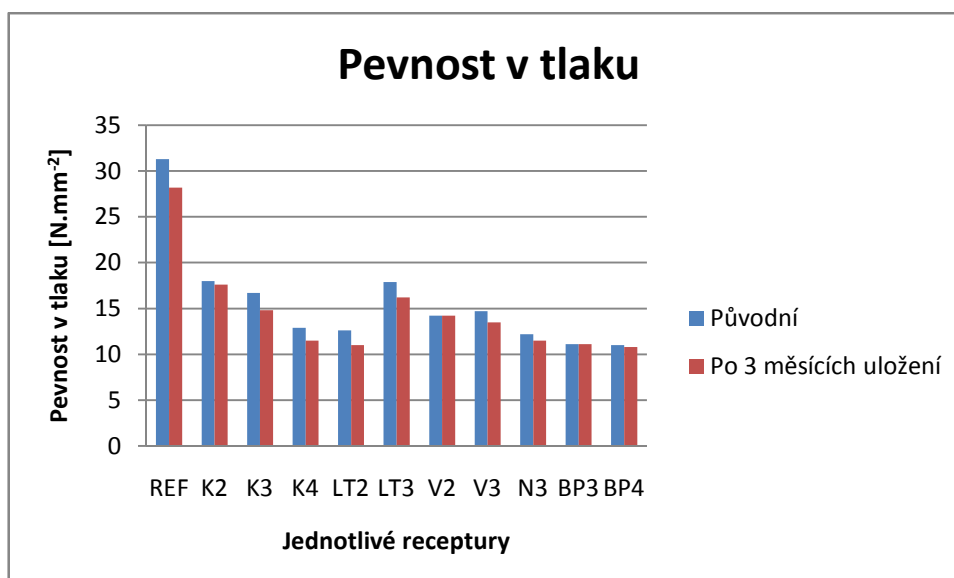
Graf 16 - Srovnání objemových hmotností po 3 měsíčním uložení

Srovnáním objemových hmotností bylo zjištěno, že nedochází k velkým jejich výkyvům po uložení. Největší rozdíl byl 100 kg·m<sup>-3</sup> u receptury bez disperze a popílku BP4. U některých receptur došlo ke zvýšení, u některých pak ke snížení.



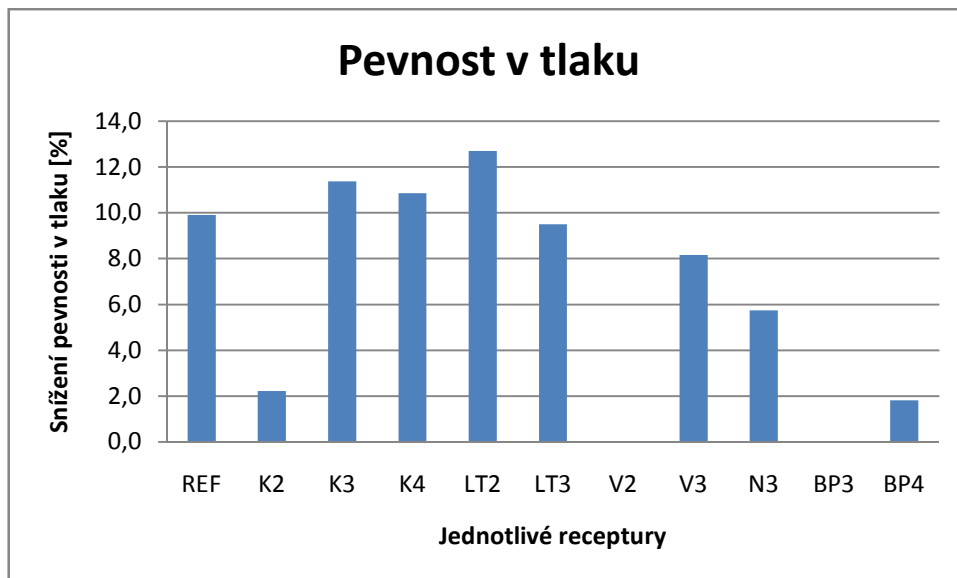
Graf 17 - Srovnání pevností v tahu za ohybu po 3 měsících uložení

U pevnosti v tahu za ohybu stejně jako u objemové hmotnosti dochází u některých receptur ke zvýšení a u některých ke snížení jejich hodnot. U referenční receptury stoupla na  $6,8 \text{ N.mm}^{-2}$ . Pevnost v tahu za ohybu výrazně stoupla u receptur V, které neobsahují disperzi a mírně také u receptur BP, tedy u těch, které neobsahují popílek a disperzi. Z grafu tedy vyplývá, že disperze může mít částečný vliv na snížení pevnosti v tahu za ohybu při dlouhodobém uložení.



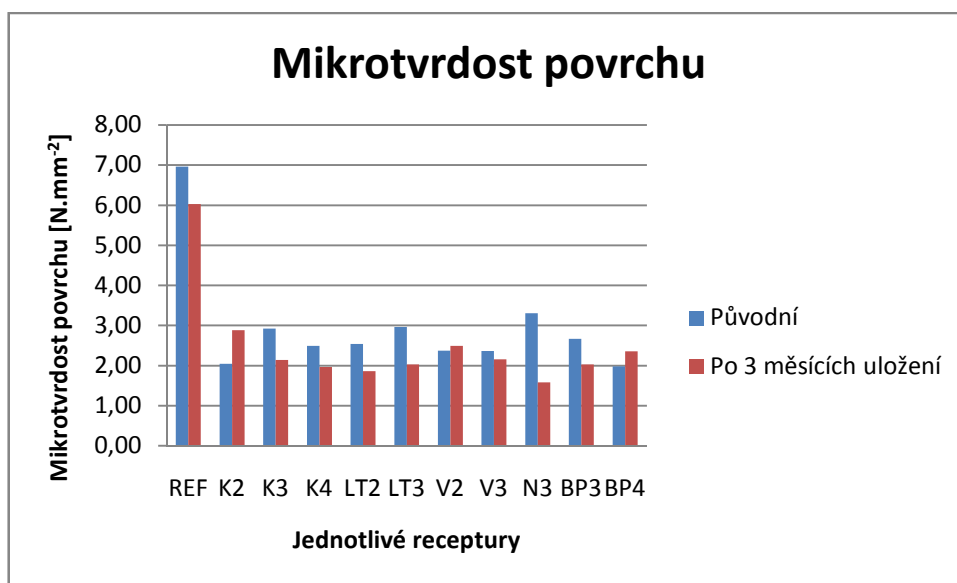
Graf 18 - Srovnání pevností v tlaku po 3 měsíčním uložení

Téměř ve všech případech došlo ke snížení pevnosti v tlaku vlivem skladování. Pouze u V2 a BP3 byla hodnota stejná. Přehledněji je znázorněn procentuální úbytek pevnosti v tlaku v následujícím grafu.



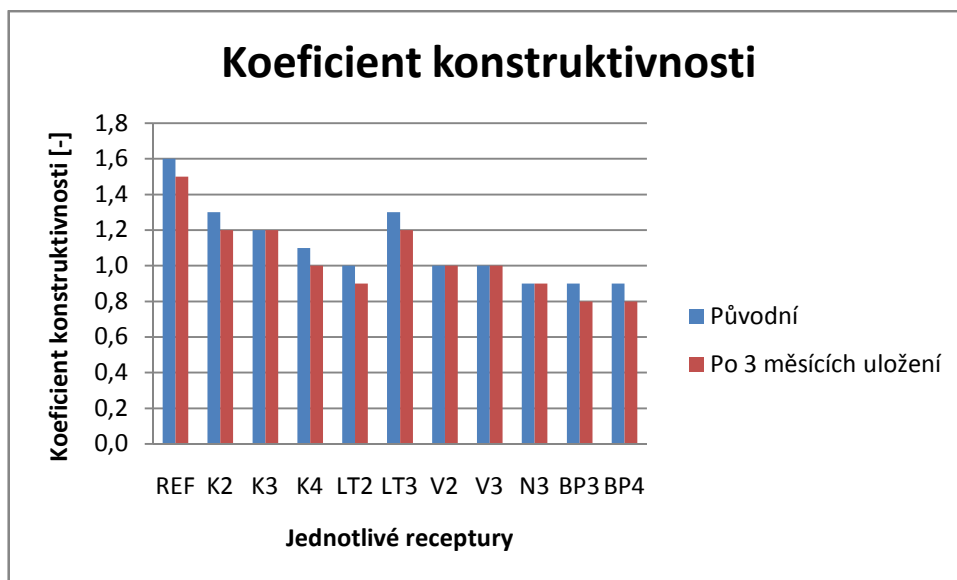
Graf 19 - Snížení pevnosti v tlaku po dlouhodobém uložení vyjádřeno v procentech

V tomto grafu je vyjádřen procentuální úbytek pevnosti v tlaku. Úbytek vyšší než 10 % nastal ve třech případech, u receptur K3, K4 a nejvyšší pak měla receptura LT2 s 12,7 %. Pouze ve dvou případech nedošlo k žádnému snížení pevnosti. U V2 a BP3. Stejně jako z grafu pevnosti v tahu za ohybu vyplývá, že k menšímu snížení pevností dochází u vzorků bez disperze.



Graf 20 - Srovnání mikrotvrdoostí povrchu po 3 měsíčním uložení

U většiny receptur klesly hodnoty mikrotvrlosti. Výjimkou jsou pouze K2, V2, které neobsahují Tylovis, také BP4, bez popílku a disperze. Nejradikálnější snížení mikrotvrlosti nastalo u receptury N3, která neobsahovala disperzi.



Graf 21 - Srovnání koeficientů konstruktivnosti po 3 měsíčním uložení

U čtyř receptur nedošlo ke změně koeficientu konstruktivnosti. Opět u receptur V2, V3 a N3, které neobsahují ve svém složení disperzi. U zbylých došlo k jeho poklesu. U žádné receptury však nedošlo ke snížení více než o 0,1. Znamená to, že nedochází k výrazné degradaci materiálů ve směsi dlouhodobě uložené. Dochází k malému snižování pevností a někdy k mírnému zvýšení objemové hmotnosti.

## 7.5 Ekonomické zhodnocení

V této části diplomové práce budou zjištěny celkové ekonomické náklady na zhotovení vybraných receptur. Byly zjištěny přibližné ceny jednotlivých vstupních surovin. Cena byla přepočtena na 1 tunu směsi. Přibližně byla také stanovena cena na 1 m<sup>3</sup>, díky které lze lépe srovnat materiály mezi sebou z hlediska nákladů na pořízení surovin pro vytvoření 1 m<sup>3</sup> samonivelačního potěrového materiálu.

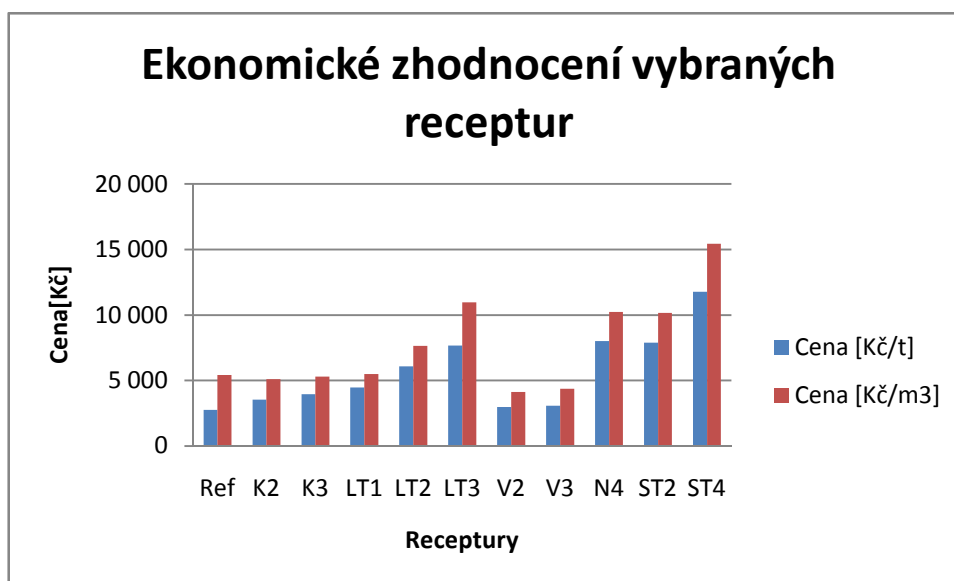
Surovina	Cena [Kč/t]
Cement I 42,5 R	2 100
Písek 0-4 mm	180
Popílek	100
Mletý uhlíčitán vápenatý	1 700
Drcený uhlíčitán vápenatý	1 400
Liaver	10170
	Cena [Kč/kg]
Superplastifikátor	150
Zpomalovač tuhnutí	95
Disperze VA/ E	50
Tylovis EP 28	1250

Tabulka 9 - Zjištěné přibližné ceny jednotlivých surovin

Receptura	Cena [Kč/t]	Cena [Kč/m <sup>3</sup> ]
Ref	2 749	5 415
K2	3 948	5 290
K3	4 347	5 043
LT1	4 476	5 505
LT2	6 076	7 655
LT3	7 676	10 976
V2	2 973	4 133
V3	3 080	4 373
N4	8 002	10 242
ST2	7 876	10 160
ST4	11 775	15 425

Tabulka 10 - Ceny vybraných receptur





Graf 22- Ekonomické zhodnocení vybraných receptur

Bylo provedeno ekonomické zhodnocení vybraných receptur, které je vyjádřeno v předchozím grafu a tabulce. Kromě referenční receptury, jejíž náklady na pořízení surovin pro výrobu 1 tuny suché směsi byly vypočteny na 2 749 Kč, vyšly jako nejlevnější receptury V2 a V3 s cenami 2 973 Kč/t a 3 080 Kč/t, které oproti ostatním recepturám neobsahují disperzi, což jejich cenu snižuje. K zvýšení ceny za 1 tunu dochází také vlivem použití lehčeného kameniva Liaver u receptur K3 a K4. Velmi podstatný vliv na cenu má použití přísad, zejména pak Tylovisu EP 28, jehož cena je 1 250 Kč/kg, to má za následek radikální zvýšení ceny u receptur, ve kterých je obsažen. U receptury ST4 dochází k výraznému zvýšení ceny oproti referenční. Pro srovnání byly stanoveny také přibližné ceny na 1 m<sup>3</sup>. V tomto srovnání dochází u několika receptur ke snížení ceny za 1 m<sup>3</sup> oproti referenční receptuře.

## 7.6 Optimalizace

Optimalizace byla provedena u 10 vybraných receptur metodou kvantitativního párového srovnání. Bylo stanoveno 7 kritérií pro její výpočet a výběr nejvhodnějších receptur. Kromě stanovených fyzikálně-mechanických vlastností byly jako kritérium zvoleny ještě zpracovatelnost po 1 hodině a celkový ekonomické náklady na pořízení surovin pro jednotlivé receptury. U zpracovatelnosti byla sledována změna (snížení) hodnoty konzistence v mm po 1 hodině oproti původní. V následující tabulce jsou uvedena všechna kritéria včetně jejich jednotek.

Číslo	Kritérium	Jednotka
1	Pevnost v tlaku	N.mm <sup>-2</sup>
2	Pevnost v tahu za ohybu	N.mm <sup>-2</sup>
3	Objemová hmotnost	kg.m <sup>-3</sup>
4	Koeficient konstruktivnosti	-
5	Mikrotvrdost povrchu	N.mm <sup>-2</sup>
6	Zpracovatelnost po 1 hodině	mm
7	Ekonomický náklad	Kč.m <sup>-3</sup>

Tabulka 11 - Stanovená kritéria pro optimalizaci

V tabulce číslo 11 jsou uvedeny jednotlivé hodnoty vybraných kritérií pro všechny vybrané receptury. Je také stanoveno optimum u jednotlivých kritérií.

Číslo	Optimum	K2	K3	LT1	LT2	LT3	V2	V3	N4	ST2	ST4
1	MAX	18	16,7	17,1	12,6	17,9	14,2	14,7	14,5	13,3	12,8
2	MAX	3,9	4,3	4,0	4,0	4,7	2,9	2,1	3,5	3,9	3,7
3	MIN	1440	1340	1230	1260	1430	1390	1420	1280	1290	1310
4	MAX	1,3	1,2	1,4	1	1,3	1	1	1,1	1	1
5	MAX	2,05	2,92	2,48	2,54	2,96	2,37	2,36	2,5	3,2	3,2
6	MIN	0	10	10	0	5	0	5	5	10	15
7	MIN	5 109	5 290	5 505	7 655	10 976	4 133	4 373	10 242	10 160	15 425

Tabulka 12 - Hodnoty jednotlivých vlastností u vybraných receptur a jejich optimum

Saatyho metoda stanovení zjišťuje preferenční vztahy dvojic kritérií uspořádaných v tabulce, v jejíchž řádcích i sloupcích jsou zapsána kritéria ve stejném pořadí. Kromě směru preference dvojic kritérií se určuje také velikost této preference, která se vyjadřuje

určitým počtem bodů ze zvolené bodové stupnice. Jako nejdůležitější kritérium byla zvolena pevnost v tlaku, následuje objemová hmotnost, ekonomický náklad a koeficient konstruktivnosti.

	1	2	3	4	5	6	7	$S_{ij}$	$R_{ij}$	$f_i$
1	1	3	2	2	3	4	2	288	2,0297	0,2680
2	1/3	1	1/2	1/2	2	3	3/4	0,375	0,8846	0,1168
3	1/2	2	1	1	2	2	1	4	1,1892	0,1570
4	1/2	2	1	1	11/2	2	2/3	2	1,0905	0,1440
5	1/3	1/2	1/2	2/3	1	1	1/2	0,0278	0,6389	0,0844
6	1/4	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	0,0104	0,5652	0,0746
7	1/2	11/3	1	11/2	2	2	1	4	1,1892	0,1570
suma								7,5874	1,0019	

Tabulka 13 - Stanovená Saatyho matice

Číslo kritéria	Optimum	K3	K4	LT1	LT2	LT3	V2	V3	N4	ST2	ST4
1	MAX	26,80	20,35	22,33	0,00	26,30	7,94	10,42	9,43	3,47	0,99
2	MAX	7,99	9,78	8,37	8,16	11,68	3,69	0,00	6,04	7,80	6,97
3	MIN	0,00	7,48	15,70	13,46	0,75	3,74	1,50	11,96	11,22	9,72
4	MAX	10,80	7,20	14,40	0,00	10,80	0,00	0,00	3,60	0,00	0,00
5	MAX	0,00	6,50	3,26	3,66	6,80	2,39	2,34	3,29	8,28	8,44
6	MIN	7,46	2,49	2,49	7,46	4,98	7,46	4,98	4,98	2,49	0,00
7	MIN	14,35	14,09	13,79	10,80	6,19	15,70	15,37	7,21	7,32	0,00
	suma	<b>67,40</b>	<b>67,89</b>	<b>80,35</b>	43,55	<b>67,49</b>	40,93	34,60	46,51	40,59	26,12

Tabulka 14 - Výsledné hodnoty optimalizačního výpočtu

Z provedeného optimalizačního výpočtu metodou kvantitativního párového srovnání vychází jako nejvhodnější receptura LT1 s hodnotou 80,35. Tato receptura má poměrně vysokou pevnost v tlaku i v tahu, má nízkou objemovou hmotnost, její koeficient konstruktivnosti je 1,4 a její ekonomická nákladnost je příznivá. Další receptury v pořadí K2, K3, LT3 dopadly v optimalizaci přibližně stejně. Jako nejhorší se jeví receptura ST4, která má nižší pevnosti a velmi vysoký ekonomický náklad.

## **8. DISKUZE VÝSLEDKŮ**

### **8.1 Etapa I – Průzkum trhu v oblasti lehčených podlah, samonivelačních podlah, případně kombinace lehčených samonivelačních podlah**

První etapa byla hlavně teoretická. Zabývala se průzkumem trhu a jeho dosavadním stavem v oblasti lehčených materiálů s ohledem na jejich využití zejména jako složek podlah a samonivelačních podlah. Byly prozkoumány možnosti přímého a nepřímého vylehčení a jejich kombinace. Byly popsány lehčené materiály vhodné pro podlahy. Zmíněny byly materiály přímo vylehčené, tedy plynobeton a pěnobeton, dále nepřímo vylehčený liaporbeton a polystyrenbeton. Etapa se dále zabývala samonivelačními podlahami, jejich druhy a rozdělením potěrů dle způsobu uložení. Byly popsány jak betonové lité směsi, tak i samonivelační směsi na bázi anhydritu. Krátce byly popsány také samonivelační stěrky, které jsou dnes klasifikovány dle stejné normy, tzn., že jsou zahrnuty do jedné výrobní skupiny s běžnými cementovými potěry, ale i samonivelačními potěry na bázi síranu vápenatého. V první etapě byla také zahrnuta aditiva, zejména pak plastifikátory a superplastifikátory, díky kterým nabývají směsi samonivelačních vlastností. To pak má za následek jejich rychlé a jednoduché ukládání oproti klasickým potěrům. Etapa vytvořila základ pro praktickou část diplomové práce.

### **8.2 Etapa II – Vytvoření receptur lehčeného materiálu se samonivelační schopností**

Druhá etapa byla zaměřena na vývoj samonivelační lehčené směsi. Byly vybrány vhodné suroviny pro přímé i nepřímé vylehčení. Jako nositel nepřímého vylehčení bylo zvoleno kamenivo Liaver, kterým bylo postupně částečně nahrazováno klasické kamenivo frakce 0-4 mm. Kamenivo bylo vybráno na základě předchozích výzkumů a prací. Byly zvoleny jeho čtyři frakce. Pro přímé vylehčení matrice materiálu, byly využity práškové provzdušňovací přísady Tylovis EP 28 a Hostapur OSB. Pro ztekucení matrice byl použit superplastifikátor na bázi vodorozpustné melaminformaldehydové pryskyřice. Dále byl v recepturách použit redispergovatelný disperzní prášek, tedy kopolymery etylenu

a vinylacetátu. Jako zpomalovač tuhnutí byla použita kyselina vinná. Pro zvýšení obsahu jemných podílů byl použit mletý a drcený uhličitán vápenatý.

Byla vytvořena nevylehčená samonivelační referenční receptura. Další receptury byly rozděleny na nepřímo vylehčené pomocí Liaveru, dále kombinace Hostapuru OSB a Liaveru a nakonec kombinace Tylovisu EP 28 a Liaveru. Byly vytvořeny směsi, u kterých byla provedena zkouška konzistence. Bylo zjištěno, že přísada Hostapur OSB není vhodná pro přímé vylehčení matrice samonivelačního materiálu. Při míchání dojde ihned k vytvoření pórů a vznikne tak pěnová matrice, která nedosahuje předepsaných samonivelačních schopností. Jinak tomu je u přísady Tylovis EP 28, tam póry nevznikají okamžitě, ale až v průběhu zrání. Směsi tak na zkoušku konzistence vyhovují. Všechny receptury jsou velmi náchylné k segregaci matrice, je proto důležité opatrně přidávat vodu. Při vyšším vodním součiniteli dochází vzhledem k nízké objemové hmotnosti Liaveru k jeho vyplavování na povrch. Z tohoto hlediska se také použití největší frakce Liaveru (2-4 mm) zdá jako méně vhodné.

Ze všech receptur byly vytvořeny zkušební vzorky 40x40x160mm. Ty byly po 28 dnech zrání podrobeny laboratorním zkouškám pro stanovení fyzikálně-mechanických vlastností. Jedná se o stanovení pevností v tlaku a v tahu za ohybu, stanovení objemových hmotností, mikrotvrdosti povrchu a koeficientu konstruktivnosti.

V rámci druhé etapy byla také provedena zkouška dlouhodobé stálosti. Zkouška simuluje chování směsí při uložení v pytlích či v sílech. Po třech měsících uložení směsí vybraných receptur byly vyrobeny opět vzorky 40x40x160 mm, na kterých byly po 28 dnech zrání stanoveny stejné fyzikálně-mechanické vlastnosti jako u původních vzorků. Následně došlo k jejich srovnání. Zkouškou bylo zjištěno, že během uložení dochází k mírnému degradačnímu účinku. U většiny fyzikálně-mechanických vlastností dochází k jejich poklesu. To může být způsobeno například vniknutím vlhkosti do směsi a k mírnému hydratování cementu. U pevnosti v tlaku byl nejvyšší procentuální poklesu receptury LT2 a to 12,7 %.

### **8.3 Etapa III – Zhodnocení výsledných vlastností, výběr nejvhodnějších receptur**

V závěrečné etapě byly zhodnoceny výsledky těch předchozích. Byly zhodnoceny zejména fyzikálně-mechanické vlastnosti u všech receptur. Bylo vybráno deset receptur s nejvyššími hodnotami pevností v tlaku a nejnižšími objemovými hmotnostmi. Nejvyšší

pevnosti v tlaku dosáhla receptura K2 vylehčená pomocí kameniva Liaver, její hodnota dosáhla  $18 \text{ N.mm}^{-2}$ . Další byla receptura vylehčená kombinací Tylovisu EP28 a Liaveru LT3 s hodnotou pevnosti v tlaku  $17,9 \text{ N.mm}^{-2}$ . Nejnižších hodnot objemové hmotnosti z vybraných receptur dosáhly LT1 a LT2 s  $1230$  a  $1260 \text{ kg.m}^{-3}$ . U referenční receptury a těchto deseti vybraných vhodných receptur bylo provedeno ekonomické zhodnocení. Byly zjištěny náklady na pořízení surovin. Byla provedena kalkulace a zjištěny ceny směsí v Kč/t a také pro přibližné srovnání v Kč/m<sup>3</sup>. Z kalkulace je zřejmé, že největší vliv na zvýšení ceny mají aditiva, zejména pak provzdušňovací přísada Tylovis EP 28 jejíž náklad na pořízení je velmi vysoký. Vedle referenční receptury s cenou 2 749 Kč/t byly jako nejlevnější receptury V2 a V3, u kterých nebyla použita disperze. Jako zdaleka nejdražší byla receptura ST4, její cena je 11 775 Kč/t. Jedná se tedy o částku výrazně vyšší než u referenční receptury.

Dále byla provedena optimalizace pro výběr nejvhodnějších receptur. Byla použita metoda kvantitativního párového srovnání. Bylo stanoveno 7 kritérií. Jedná se o stanovené fyzikálně-mechanické vlastnosti, dále ekonomickou nákladnost jednotlivých receptur stanovenou v předchozí části. Posledním kritériem byla zvolena zpracovatelnost směsi po 1 hodině. Jako nejdůležitější kritérium byla zvolena pevnost v tlaku, dále objemová hmotnost, ekonomická nákladnost a koeficient konstruktivnosti. Byl proveden optimalizační výpočet a z něj vyšla jako nejvhodnější receptura LT1, zejména díky svým vysokým pevnostem a nízké objemové hmotnosti, její ekonomická nákladnost pak není příliš vysoká. Dále se pak jako vhodné seřadily přibližně na stejné úrovni receptury K2, K3 a LT3. Mají dostatečné pevnosti při snížené objemové hmotnosti. Receptura LT3 s obsahem Tylovisu je ale oproti recepturám K2 a K3 více nákladná.

Receptury	Objemová hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Pevnost v tahu za ohybu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Pevnost v tlaku [N.mm <sup>-2</sup> ]	Mikrotvrdost povrchu [N.mm <sup>-2</sup> ]	Koeficient konstruktivnosti [-]
LT1	1230	4,0	17,1	2,48	1,4
LT3	1430	4,7	17,9	2,96	1,3
K2	1440	3,9	18	2,05	1,3
K3	1340	4,3	16,7	2,92	1,2

Tabulka 15 - Fyzikálně-mechanické vlastnosti vybraných nejvhodnějších receptur

## 9. ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na oblast lehčených podlah, zejména potěrů. Hlavním cílem diplomové práce byl vývoj nového druhu lehčeného podlahového potěru se samonivelační funkcí. Cílem bylo vytvořit takový materiál, který by bylo možné použít přímo na stavbě pouze po přidání vody. Skladován by tedy byl ve formě suché směsi v pytlích nebo silech.

Tato práce byla rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je souhrn informací a poznatků v oblasti lehčených a samonivelačních materiálů. Teoretická část měla za úkol vytvořit základ pro praktickou část. Byly popsány možnosti vylehčení stavebních materiálů. Byl popsán způsob přímý, při kterém dochází k vylehčení matrice pomocí pórů, které vznikají např. přidáním provzdušňovací přísady u plynobetonu nebo vmísením již vytvořené pěny u pěnobetonu. Nepřímého vylehčení dosahujeme přidáním již pórovitých materiálů do matrice. Takovými materiály jsou např. lehčená kameniva Liapor nebo Liaver, lze využít i polystyren. V teoretické části jsou popsány některé lehčené materiály vhodné pro podlahy. Jedná se např. o Liaporbeton, polystyrenbeton, pěnobeton.

Dále se teoretická část zabývala také dosavadními poznatky o samonivelačních podlahách, jejich druhy, principy samonivelace, způsoby uložení a složky těchto podlah. Byly popsány samonivelační podlahy na bázi síranu vápenatého i samonivelační podlahy na bázi cementu. Byly popsány druhy potěrů dle způsobu uložení a srovnání potěrů se stěrkami. Byly popsány aditiva pro tyto směsi, zejména pak superplastifikátory, které způsobují jejich ztekucení a následné samonivelační vlastnosti.

Cílem praktické části bylo zhodnotit a vybrat suroviny pro kombinaci přímého a nepřímého vylehčení a z nich pak byl sestaven návrh receptur směsí pro výrobu lehčených podlah se samonivelačními schopnostmi. Pro přímé vylehčení byly na základě pozitivních experimentů vybrány provzdušňovací přísady Tylovis EP 28 a Hostapur OSB, jako nositel nepřímého vylehčení bylo vybráno lehčené kamenivo Liaver. Byly navrženy nejvhodnější receptury, z nich vytvořeny zkušební vzorky a stanoveny vybrané fyzikálně-mechanické vlastnosti. Byla také zhodnocena dlouhodobá stabilita směsí a jejich vhodnost ke skladování. Z výsledků bylo zjištěno, že vlivem samonivelace dochází ke snížení fyzikálně-mechanických vlastností, ale toto snížení však není příliš vysoké a nemá rozhodující vliv na použitelnost.

Po zhodnocení všech fyzikálně-mechanických vlastností bylo vybráno 10 receptur a byla u nich stanovena jejich celková ekonomická náročnost. Byly stanoveny přibližné

ceny receptur na tunu i na  $1 \text{ m}^3$ . Všechny zjištěné parametry fyzikálně-mechanických vlastností, ekonomická nákladnost a také zpracovatelnost směsí po 1 hodině tvořily výčet kritérií pro optimalizaci. Jako nejvýznamnější kritérium byla zvolena pevnost v tlaku, dále objemová hmotnost, ekonomický náklad a koeficient konstruktivnosti. Úkolem bylo tedy vybrat receptury s nejlepšími fyzikálně-mechanickými vlastnostmi při příznivé ceně na jejich pořízení. Po optimalizaci byly vybrány vhodné receptury. Jedná se o receptury K2, K3, LT3. Jako úplně nejvhodnější pak byla zvolena receptura LT1. Její pevnost v tlaku dosáhla hodnoty  $17,1 \text{ N.mm}^{-2}$  při objemové hmotnosti  $1230 \text{ kg.m}^{-3}$ , náklad na tunu směsi pak byl přibližně stanoven na 4 476 Kč a na  $1 \text{ m}^3$  5 505 Kč.

Na základě těchto výsledků se očekává zavedení do výroby a následné uvedení na trh.



## **Seznam použitých zdrojů**

- [1] SVOBODA, P., DOLEŽAL, J., *Průmyslové podlahy v objektech pozemních staveb*, Bratislava JAGA GROUP 2007, ISBN 978-80-8073-054-0
- [2] DROCHYTKA R., MATULOVÁ P., *Lehké stavební látky*, Vysoké učení technické v Brně 2006
- [3] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, 2004, 471 s. ISBN 80-807-6007-1.
- [4] [http://concrete.fsv.cvut.cz/~vrba/Publikace/FRVS\\_2012\\_prisady\\_primesi.pdf](http://concrete.fsv.cvut.cz/~vrba/Publikace/FRVS_2012_prisady_primesi.pdf)
- [5] <http://imaterialy.dumabyt.cz/Poruchy/Podlahove-potery-anbspcape-priciny-jejich-poruch.html>
- [6] <http://www.bvgroup.cz>
- [7] <http://www.imaterialy.cz/Materialy/Samonivelacni-sterky-kvalitaapouziti1.html>
- [8] <http://www.imaterialy.cz/Materialy/Samonivelacni-sterky-kvalitaapouziti2.html>
- [9] [http://www.baumit.cz/upload/Prospekty/Potery\\_a\\_podlahove\\_sterky\\_04\\_2014.pdf](http://www.baumit.cz/upload/Prospekty/Potery_a_podlahove_sterky_04_2014.pdf)
- [10] <http://www.lite-smesi.cz/znackove-produkty/cemflow-lity-cementovy-poter.html>
- [11] <http://www.lite-smesi.cz/poradenstvi/bytove-a-obcanske-stavby/podlahy.html#tab3>
- [12] <http://www.liaporbeton.cz>
- [13] <http://www.ekostyren.cz/>
- [14] ŠENK, Josef. *Vývoj lehčené podlahoviny z pórovitých betonů na bázi odpadních surovin*. Brno, 2013. 47 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.
- [15] KAPČUK, Pavel. *Lehčené podlahy na bázi pěnobetonů a plynobetonů s využitím druhotných surovin*. Brno, 2013. 90 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA.
- [16] Přednášky z předmětu BJ10 – Lehké stavební látky

## **Seznam použitých norem**

ČSN EN 744505	Podlahy - Společná ustanovení
ČSN EN 13318	Potěrové materiály a podlahové potěry- Definice
ČSN EN 13813	Potěrové materiály a podlahové potěry- Potěrové materiály – Vlastnosti a požadavky
ČSN EN 13892 – 1	Zkušební metody potěrových materiálů – Část 1: Odběr vzorků, zhotovení a ošetřování těles
ČSN EN 13892 – 2	Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku
ČSN EN 13892 – 6	Zkušební metody potěrových materiálů – Část 6: Stanovení tvrdosti povrchu
ČSN EN 12390-3	Zkoušení zatvrdlého betonu – Pevnost v tlaku zkušebních těles
ČSN EN 12390-7	Zkoušení zatvrdlého betonu – Objemová hmotnost zatvrdlého betonu
ČSN EN 1097	Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva
ČSN EN 13055	Pórovité kamenivo
ČSN EN 12620	Kamenivo do betonu
ČSN EN 1015-3	Stanovení konzistence čerstvé malty s použitím střešacího

## **Seznam grafů**

Graf 1 - Objemové hmotnosti receptur s Liaverem.....	39
Graf 2 - Pevnosti v tahu za ohybu receptur s Liaverem .....	40
Graf 3 - Pevnosti v tlaku receptur s Liaverem .....	41
Graf 4 - Koeficienty konstruktivnosti u receptur s Liaverem .....	41
Graf 5 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s Liaverem .....	42
Graf 6 - Objemové hmotnosti receptur a Hostapurem OSB a Liaverem .....	44
Graf 7 - Pevnosti v tahu za ohybu receptur a Hostapurem OSB a Liaverem.....	44
Graf 8 - Pevnosti v tlaku receptur s Hostapurem OSB a Liaverem .....	45
Graf 9 - Koeficienti konstruktivnosti receptur s Hostapurem OSB a Liaverem .....	45
Graf 10 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s Hostapurem OSB a Liaverem.....	46
Graf 11 - Objemové hmotnosti receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru.....	49
Graf 12 - Pevnosti v tahu za ohybu u receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	49
Graf 13 - Pevnosti v tlaku receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	50
Graf 14 - Mikrotvrdosti povrchu receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	50
Graf 15 - Koeficienty konstruktivnosti u receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	51
Graf 16 - Srovnání objemových hmotností po 3 měsíčním uložení.....	52
Graf 17 - Srovnání pevností v tahu za ohybu po 3 měsících uložení.....	53
Graf 18 - Srovnání pevností v tlaku po 3 měsíčním uložení.....	53
Graf 19 - Snížení pevnosti v tlaku po dlouhodobém uložení vyjádřeno v procentech .....	54
Graf 20 - Srovnání mikrotvrdostí povrchu po 3 měsíčním uložení.....	54
Graf 21 - Srovnání koeficientů konstruktivnosti po 3 měsíčním uložení.....	55
Graf 22- Ekonomické zhodnocení vybraných receptur.....	57

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Materiálové a aplikační rozdíly mezi samonivelačními stěrkami a běžnými potěry [7] .....	28
Tabulka 2 - Receptury s použitím Liaveru jako nepřímého vylehčení .....	38
Tabulka 3 - Zjištění fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s Liaverem.....	39
Tabulka 4 - Receptury s použitím Hostapuru OSB a Liaveru.....	43
Tabulka 5- Zjištění fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s použitím Hostapuru OSB a Liaveru .....	43
Tabulka 6 - Receptury s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	47
Tabulka 7 - Receptury s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	47
Tabulka 8 – Zjištění fyzikálně-mechanické vlastnosti receptur s kombinací Tylovisu a Liaveru .....	48
Tabulka 9 - Zjištění přibližné ceny jednotlivých surovin.....	56
Tabulka 10 - Ceny vybraných receptur .....	56
Tabulka 11 - Stanovená kritéria pro optimalizaci .....	58
Tabulka 12 - Hodnoty jednotlivých vlastností u vybraných receptur a jejich optimum .....	58
Tabulka 13 - Stanovená Saatyho matice .....	59
Tabulka 14 - Výsledné hodnoty optimalizačního výpočtu.....	59
Tabulka 15 - Fyzikálně-mechanické vlastnosti vybraných nejvhodnějších receptur.....	62

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 - Přímé vylehčení [16] .....	16
Obrázek 2 - Nepřímé vylehčení [16] .....	17
Obrázek 5 – Mezerovitá struktura [12] .....	18
Obrázek 6 – Hutná struktura [12] .....	18
Obrázek 7 - Polystyrenbeton [13] .....	19
Obrázek 3 - Ukládání litého potěru[6] .....	24
Obrázek 4- Srovnávání litého potěru[6] .....	24
Obrázek 5- Hotový potěr [6] .....	25
Obrázek 6 - Spojený potěr [9] .....	26
Obrázek 7 - Oddělený potěr [9] .....	27
Obrázek 8 - Plovoucí potěr [9] .....	27
Obrázek 9 - Hopplerůvkonzistometr [autor] .....	35
Obrázek 10- Haegermannův kužel [autor] .....	35
Obrázek 11 – Měření rozlití [autor] .....	35
Obrázek 12 - Lehčené kamenivo Liaver [18] .....	36
Obrázek 13 - Tylovis EP 28 [autor] .....	37
Obrázek 14 - Tylovis EP 28 [autor] .....	37